

UNIVERSITÉ DE FRIBOURG, SUISSE
FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE MÉDECINE

En collaboration avec la
HAUTE ÉCOLE FÉDÉRALE DE SPORTS DE MACOLIN

Influence d'un entraînement d'équilibre sur les performances
d'une double tâche chez les adolescents.

Travail final pour l'obtention du Master en
Sciences du Mouvement et du sport
Option Enseignement

Conseiller: Prof. Dr. Wolfgang TAUBE
Co-conseiller-ère: Michael WAELCHLI

Simon LEUBA
Fribourg, Mai, 2015

Tables des matières

1	INTRODUCTION	5
1.1	Le contrôle postural.....	7
1.1.1	L'appareil vestibulaire.....	8
1.1.2	Système visuel.....	10
1.1.3	Système proprioceptif	13
1.1.4	Système sensoriel cutané.....	15
1.1.5	Contribution des afférences sensorielles à la stabilisation	16
1.1.6	Le contrôle cérébral de la stabilisation posturale	16
1.1.7	Ontogenèse des performances posturales.....	18
1.1.8	Les adaptations à l'entraînement d'équilibre	20
1.2	La dual task.....	27
1.2.1	La double tâche et la mesure de l'attention.....	27
1.2.2	L'attention et les ressources attentionnelles.....	28
1.2.3	Effets de l'ajout d'une tâche secondaire sur le contrôle postural.....	29
1.2.4	Coût attentionnel du contrôle postural en fonction de l'âge.....	32
1.2.5	Evolution des performances en dual en fonction de l'âge	35
1.2.6	Entraînement de la dual task.....	39
2	METHODE.....	42
2.1	Participants	42
2.2	Entraînement	42
2.3	Mesures conduites lors des pre- et post-tests.....	44
2.3.1	Appareils de mesure.....	45
2.3.2	Procédure de mesures.....	46
2.3.3	Traitement des données et analyses statistiques.....	47
3	RESULTATS	48
3.1	Tâche posturale seule	48
3.2	Tâche cognitive seule	48
3.3	Tâche motrice en condition double tâche	49
3.4	Tâche cognitive en condition double tâche	49
3.5	Position debout sur une jambe	50
3.6	Disque d'équilibre	51
3.7	Différence entre la « motor single task » et la « motor dual task ».....	51
3.8	Différence entre la « cognitive single task » et la « cognitive dual task »	52
4	DISCUSSION.....	53

5	CONCLUSION	58
6	REFERENCES	60
7	ANNEXES	64

Résumé

Dans cette étude, le but était de déterminer si la performance d'adolescents à une dual task pouvait être améliorée à la suite d'un entraînement de la tâche posturale uniquement. 16 adolescents âgés de 13 à 15 ans (âge moyen = 14.9) ont participé à un entraînement d'équilibre donné deux fois par semaine dans le cadre des leçons d'éducation physique scolaires. 14 autres adolescents (âge moyen = 14.0) composaient un groupe contrôle. Pour mesurer les performances, différents tests ont été utilisés. Les performances posturales ont été mesurées à l'aide d'un Posturomed™, sur lequel les adolescents adoptaient une position de semi-tandem. La tâche cognitive consistait en un Stroop test. Ces tâches ont été réalisées de manière séparée (single task) et de manière simultanée (dual task). Deux mesures d'équilibres complémentaires sur une plateforme de force ont été utilisées pour évaluer de manière plus approfondie les performances posturales. L'entraînement d'équilibre était un entraînement complet, construit de façon à être ludique et à maintenir les adolescents motivés.

Nos résultats ne montrent pas d'amélioration significative de la performance en dual task suite à notre entraînement. Cela suggère qu'un entraînement single task n'est pas optimal pour améliorer les performances d'adolescents en condition de dual task et remet en question la théorie de l'attention et des capacités limitées. L'entraînement a par contre permis au groupe intervention, comme on pouvait s'y attendre, de progresser dans la tâche posturale. Ceci montrant l'efficacité de l'entraînement sur le contrôle postural.

Mots clés : Dual task, adolescence, contrôle postural, tâche cognitive, attention, ressources attentionnelles

1 Introduction

Ce travail a été réalisé dans le cadre de mon master en sciences du mouvement et du sport, option enseignement, à l'Université de Fribourg. Le thème du travail de master m'a été proposé par l'unité de recherche du département des sciences du mouvement de l'université de Fribourg, conduit par le professeur Wolfgang Taube. Mon mentor durant ce travail a été Michael Waelchli.

La vie de tous les jours est remplie de situations où l'humain doit gérer plusieurs choses en même temps. La vie de tous les jours implique notamment de nombreuses situations dans lesquelles une tâche posturale est réalisée simultanément avec une tâche secondaire.

C'est le cas par exemple lorsque l'on marche dans la rue en écrivant un message, ou lorsque l'on circule à vélo en parlant à un ami. Ces situations sont communément appelées des doubles tâches. La plupart du temps, ces situations sont gérées sans problèmes par l'être humain. En effet, aussi longtemps que la tâche posturale est réalisée de manière automatique et qu'elle requière peu

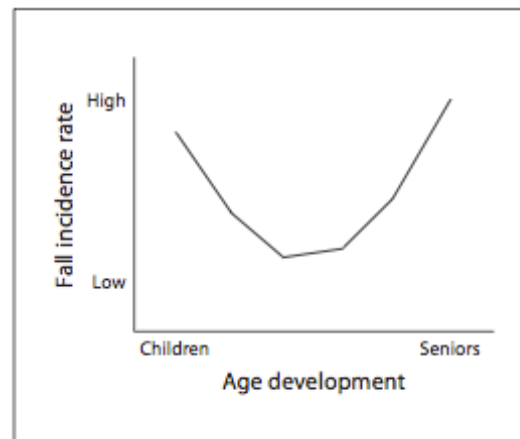


Fig. 1 : Evolution du risque de chute durant la vie (Granacher et al., 2011a)

de ressources attentionnelles, l'addition d'une tâche secondaire n'est pas problématique. Par contre, quand les situations deviennent plus compliquées, qu'elles demandent plus de ressources attentionnelles, la tâche motrice la plus simple peut devenir problématique avec l'addition d'une tâche secondaire (Ruffieux et al., 2015). Si l'on reprend l'exemple du vélo, on pourra remarquer que deux personnes circulant et discutant ensemble vont très vite s'arrêter de discuter en arrivant dans une circulation plus dense. L'addition d'une seconde tâche augmente la demande attentionnelle totale et cela peut conduire à des interférences. Ce qu'on appelle interférence est une situation de concurrence entre deux tâches et qui se manifeste lorsque la demande attentionnelle totale dépasse la capacité de traitement de l'individu. Lorsqu'il y a des interférences, cela mène à une baisse de la performance d'une ou des deux tâches réalisées simultanément (Ruffieux et al., 2015). Ces interférences du contrôle postural peuvent mener à des chutes.

Nous savons que les personnes âgées et les enfants sont les populations qui présentent les plus hauts risques de chutes, la figure 1 montre d'ailleurs très bien l'évolution du risque de chute durant la vie (Granacher et al., 2011a). Ce risque est donc particulièrement élevé également durant les situations de double tâche. Ceci est dû au fait, notamment, que le contrôle postural consomme plus de ressources attentionnelles chez les enfants et les personnes âgées que chez les jeunes adultes, et ceci avec des ressources limitées en comparaison au jeunes adultes (Ruffieux et al., 2015).

De nombreuses études ont donc montré des différences de stratégies de contrôle postural entre les enfants, les adultes et les personnes âgées (Boisgontier et al., 2011 ; Lacour et al., 2008 ; Palluel et al., 2010). Des études ont également montré que l'âge influençait l'effet que pouvait avoir l'addition d'une seconde tâche (Boisgontier et al., 2011 ; Lacour et al., 2008 ; Palluel et al., 2010).

Boisgontier et al., montre notamment que le contrôle postural et les capacités attentionnelles se développeront de manière non-monotique au cours de l'enfance et de l'adolescence (Boisgontier et al., 2011). Cela signifie que le développement connaîtra des périodes de forte avancée, des périodes de stagnation et même parfois des périodes de recul.

Ce travail se concentrera sur une période qui constitue une période charnière dans le développement, l'adolescence. En effet, l'adolescence est une période très dynamique sur le plan du développement, caractérisée par des changements rapides de taille, de forme ou encore de composition corporelle (Palluel et al., 2010). C'est la puberté, qui débute aux alentours des 11 ans chez les filles et 13 ans chez les garçons, qui marque le passage de l'enfance à l'adolescence. Mon travail se concentrera sur cette période de la vie, car très peu d'études se sont intéressées au sujet de la double tâche chez les adolescents. En effet, la plupart des études s'intéressent à la différence entre les enfants, les jeunes adultes et les personnes âgées.

Comme il a été dit auparavant, nous rencontrons des situations de double tâche à chaque instant de notre vie. Donc améliorer les gestions de ces situations de double tâche devrait être une priorité dans tous les programmes de prévention des chutes

(Pellecchia, 2005). Pellecchia (2005) a montré qu'un entraînement de la double tâche permettait de réduire l'impact d'une tâche cognitive sur les oscillations posturales, chez des jeunes adultes. Dans ce travail, l'entraînement qui cherchera à améliorer les performances en dual task ne sera composé que d'entraînements de la tâche postural, c'est-à-dire un entraînement d'équilibre. La question de recherche est donc : « Est-ce que les adolescents peuvent améliorer leur performance lors d'une dual task, comprenant une tâche motrice et une tâche cognitive, après un entraînement de la tâche motrice uniquement ? ».

C'est une approche totalement novatrice. En effet, jamais une telle étude n'a été menée avec des adolescents. La particularité de la procédure d'entraînement, uniquement postural, fait de cette étude une nouveauté dans le monde de la recherche. On espère que cette approche inédite permettra d'apporter de nouveaux éléments dans ce domaine de recherche.

Pour en arriver à cette problématique, nous allons tout d'abord commencer par développer les différents points essentiels nécessaires qui permettent d'avoir un bon contrôle postural, un bon équilibre. Ensuite, dans une deuxième partie, nous allons décortiquer le thème de la double tâche, les mécanismes de l'attention ou encore l'influence de l'âge sur la double tâche.

1.1 Le contrôle postural

Le système de contrôle postural régule la position du corps dans l'espace dans un but d'orientation et d'équilibre. Le contrôle est basé sur l'intégration centrale des informations vestibulaires, visuelles, proprioceptives et tactiles, ainsi que sur une représentation interne de l'orientation du corps dans l'espace. Le modèle interne de la position du corps est continuellement mis à jour sur la base de feedback sensoriels (Lajour et al., 2008). Le contrôle postural a deux fonctions principales. La première est de construire la posture contre la gravité et s'assurer que l'équilibre est maintenu. Et la seconde est de fixer l'orientation et la position des segments corporels qui servent de cadre de référence pour la perception et pour l'action en fonction du monde extérieur (Massion, 1994).

Une posture est une attitude, définie par la position relative des segments corporels ainsi que par leur orientation dans l'espace. Plus généralement, la terminologie

posture transcende la simple description d'une géométrie corporelle particulière et sous-tend les mécanismes nerveux qui régulent les variations d'attitude, intentionnelles ou non (Pérennou, 2012).

Ce chapitre sur le contrôle postural sera composé de différents sous-chapitres qui reprendront les différents points essentiels du contrôle de l'équilibre. Nous commençons avec l'appareil vestibulaire.

1.1.1 L'appareil vestibulaire

Ce chapitre sur le système vestibulaire s'inspire fortement du livre d'anatomie et de physiologie humaine de Marieb (2005).

L'appareil vestibulaire est un système sensoriel qui est spécialisé dans les informations sur la position et les déplacements de la tête. Vestibulaire est un terme dérivé du mot « vestibule ». Le vestibule est localisé dans l'oreille interne et est composé d'une structure osseuse qu'on appelle labyrinthe. On nomme souvent l'oreille interne labyrinthe en raison de sa forme compliquée. Sa localisation, dans l'os temporal et derrière l'orbite oculaire, fournit à ses fragiles récepteurs une bonne protection. L'oreille interne se compose de deux grandes divisions : le labyrinthe osseux et le labyrinthe membraneux.

Le labyrinthe osseux est un système de canaux creusés dans l'os, et il est composé de trois grosses parties. Le vestibule, la cochlée et les canaux semi-circulaires. Le labyrinthe membraneux quant à lui est un réseau de vésicules et de conduits membraneux situé dans le labyrinthe osseux et suivant plus ou moins ses contours.

Le labyrinthe osseux est rempli de périlymphe. La périlymphe est un liquide dans lequel flotte le labyrinthe membraneux. Le labyrinthe membraneux, lui, contient un liquide appelé endolymphe. Ces deux liquides jouent un rôle très important dans la transmission des informations en permettant la transmission des vibrations sonores (appareil auditif). Ils réagissent aussi aux forces mécaniques provoquées par les mouvements ou les accélérations de la tête.

Le vestibule se trouve au centre du labyrinthe osseux. Deux vésicules du labyrinthe membraneux, le saccule et l'utricule, sont unies par un petit conduit et flottent dans sa périlymphe. Le saccule et l'utricule contiennent les zones réceptrices de l'équilibre nommées macules. Les macules réagissent à la force gravitationnelle et encodent les variations de positions de la tête.

Les canaux semi-circulaires se comptent au nombre de trois. Ils décrivent, chacun d'entre eux, environ deux tiers de cercle. Ils occupent chacun un des trois plans de l'espace. Chaque canal semi-circulaire se compose d'un conduit semi-circulaire membraneux qui s'ouvre dans l'utricule, à l'avant. Ces conduits membraneux contiennent chacun une extrémité renflée qu'on appelle ampoule, qui abrite la crête ampullaire. La crête ampullaire est la zone réceptrice de l'équilibre et elle réagit aux mouvements de rotations de la tête.

Les récepteurs de l'équilibre de l'oreille interne se classent en deux groupes : les récepteurs de l'équilibre statique, se trouvant dans le vestibule, et ceux de l'équilibre dynamique, se trouvant dans les canaux semi-circulaires.

Les récepteurs servant à l'équilibre statique se situent dans la paroi du saccule ainsi que dans la paroi de l'utricule. Ils sont situés dans les macules. Il y a une macule dans chaque paroi. Ces récepteurs détectent donc la position de la tête dans l'espace et sont sensibles aux variations rectilignes de la vitesse et de la direction, mais non pas à la rotation.

Les macules, plaques d'épithélium, contiennent des cellules de soutiens ainsi que des cellules réceptrices dispersées appelées cellules sensorielles. Le sommet des cellules sensorielles comporte de nombreux stéréocils et un seul kinocil. Ces cils entrent dans la membrane otolitique sus-jacente, plaque gélatineuse parsemée de cristaux de carbonate de calcium nommés otolithes. Même si elles sont très petites, les otolithes sont denses et elles s'ajoutent à la masse et à l'inertie de la membrane. Dans l'utricule, la macule est horizontale et les cils s'orientent verticalement quand la tête est droite. La macule de l'utricule est surtout sensible à l'accélération dans le plan horizontal et à la flexion latérale de la tête. A l'inverse, dans la saccule, la macule est verticale, et les cils pénètrent horizontalement dans la membrane des otolithes. La macule de la saccule réagit surtout aux mouvements verticaux comme l'accélération d'un ascenseur.

Les cellules réceptrices libèrent continuellement un neurotransmetteur, mais le mouvement de leurs cils en modifie la quantité libérée. Il y a donc augmentation et diminution de la fréquence des influx produits par les terminaisons du nerf vestibulaire enroulées autour de leurs bases.

Les récepteurs de l'équilibre dynamique, les crêtes ampullaires, sont de très petites éminences situées dans les ampoules des conduits semi-circulaires. A la manière

des macules, les crêtes ampullaires sont excitées par les mouvements de la tête (accélération et décélération), et les principaux stimuli, contrairement aux macules, les mouvements rotatoires. Etant donné que les conduits semi-circulaires s'orientent dans les trois plans de l'espace, tous les mouvements rotatoires de la tête perturbent l'une des trois paires de crêtes ampullaires.

Comme les macules, chaque crête ampullaire est composée de cellules de soutien et de cellules sensorielles. Ces cellules sensorielles, comme celles des macules, portent des stéréocils et un kinocil qui pénètrent dans une masse gélatineuse. Cette fois, la masse gélatineuse est appelée cupule. La cupule est un fin réseau de filaments gélatineux qui se dispersent pour entrer en contact avec les cils des cellules sensorielles. Les dendrites des neurones du nerf vestibulaire s'enroulent autour de la base des cellules sensorielles de la crête ampullaires, comme pour les cellules sensorielles de la macule.

Les crêtes ampullaires sont donc réactives aux variations de vitesses des mouvements rotatoires de la tête. En raison de l'inertie, l'endolymphe des conduits semi-circulaires membraneux se déplace brièvement dans la direction opposée à celle de la rotation du corps et déforme ainsi la crête ampullaires. Au fur et à mesure que les cils se courbent, les cellules se dépolarisent et les influx atteignent l'encéphale à un rythme accéléré.

L'information vestibulaire est donc essentielle au contrôle postural. Dans de nombreuses tâches comme la locomotion, les patients vestibulolésés ont des oscillations de la tête bien plus grandes que les sujets normaux, et conséquemment une instabilité posturale. (Gresty et al., 1985, cité par Perennou et al., 2012).

Mais le système vestibulaire n'est de loin pas l'unique système sensoriel impliqué dans le contrôle postural. Dans le prochain sous-chapitre, nous voir allons quels rôles importants joue le système visuel dans le contrôle de la posture.

1.1.2 Système visuel

La part de la vision pour le contrôle de l'équilibration chez l'homme est ambiguë, car elle peut à elle seule, provoquer des sensations d'instabilité de l'environnement ou des impressions de mouvements des objets par rapport au sujet lui-même. Cette ambiguïté sensorielle ou conflit est partiellement résolue en utilisant les informations

des systèmes proprioceptifs ou vestibulaires (Bronstein AM., 2013). Le système visuel n'agit pas seulement avec la clareté de ce qui est vu (acuité visuel), mais également par les informations qui sont générées par le mouvement de l'individu à travers l'environnement. L'acquisition de telles informations dynamiques génère un champ de vision pour le mouvement (Wolpert (1990) cité par Wade & Jones (1997)).

L'importance du système visuel dans le contrôle de l'équilibre a été largement documentée depuis de nombreuses années. Deux lignes de preuves principales se distinguent. Premièrement, il a été montré que le fait de masquer la vue chez des individus augmentait de 200-300% les oscillations du corps en position debout (Bacher & Gompf, 1984 ; cité par Kelly et al., 2008). La dégradation expérimentale de l'acuité visuel et du flux visuel, en plaçant un film semi-transparent devant les yeux, mène également à une augmentation des oscillations du corps (Paulus et al., 1984 ; cité par Kelly et al., 2008). Deuxièmement, le paradigme de la « swinging room » a été utilisé pour démontrer que le déplacement de l'environnement visuel produisait une réponse posturale compensatoire (Lee & Lishman, 1975 ; cité par Kelly et al., 2008). Probablement que ce mouvement visuel imposé est interprété comme si l'individu bougeait lui-même, et une réponse posturale compensatoire est générée pour essayer de compenser ce mouvement perçu. De plus, la découverte qu'un mouvement de l'environnement visuel sur un rythme sinusoïdal produit une réponse posturale à la même fréquence, renforce encore la relation entre la vision et le contrôle postural (Bardy et al., 1996 ; cité par Kelly et al., 2008).

1.1.2.1 Lien entre le système visuel et le système vestibulaire

Le réflexe vestibulo-oculaire

Il existe un lien très étroit entre le système vestibulaire et le système visuel. Effectivement, dans notre vie de tous les jours, nous nous déplaçons à travers le monde, et en même temps nous maintenons notre regard stable. C'est grâce au réflexe vestibulo-oculaire (RVO) qui produit des mouvements des yeux compensatoires de grandeur égale et opposée aux rotations de la tête afin de maintenir l'axe visuel stable par rapport à l'environnement. Le RVO, est sans aucun doute, notre comportement le plus rapide : en réponse à un mouvement de la tête, les mouvements des yeux sont générés avec une latence de seulement 5-6ms (Cullen, 2012). Le RVO est toujours actif. Par exemple, si vous fixez un objet, et que

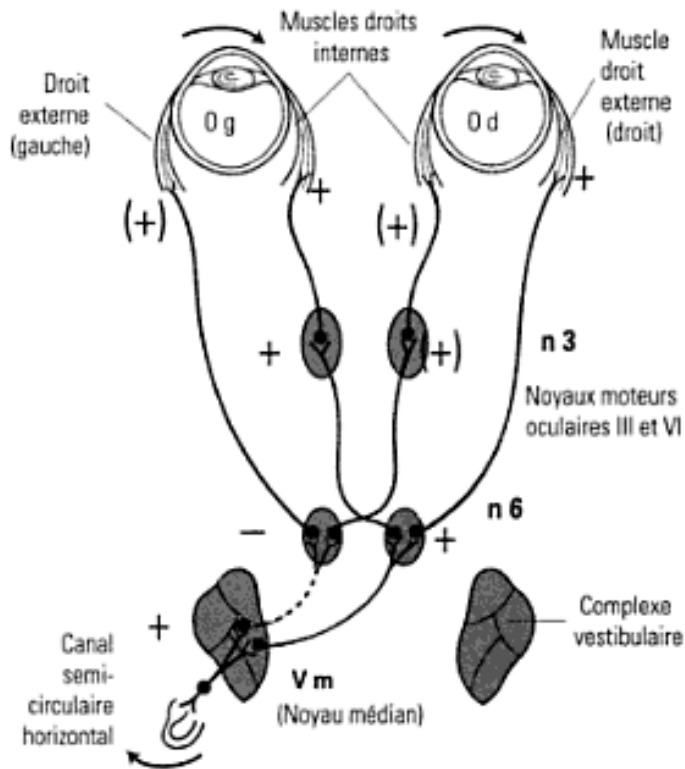


Fig. 2 : Réflexe vestibulo-oculaire (Orsini et al., 2006)

et les muscles oculomoteurs. Il existe une correspondance assez simple entre les trois canaux semi-circulaires et les trois paires de muscles de chaque œil.

Lors d'un mouvement de la tête vers la gauche par exemple, les influx issus des canaux semi-circulaires atteignent le noyau vestibulaire médian. Ils vont activer des neurones secondaires, l'un excitateur et l'autre inhibiteur. La projection du neurone secondaire excitateur sur le noyau du VI contralatéral conduit à la contraction du muscle droit latéral de l'œil droit. Le muscle droit médian de l'œil gauche est activé par voie disynaptique impliquant, outre le noyau du VI, le noyau oculomoteur III innervant ce muscle. Enfin, la projection du neurone secondaire inhibiteur se terminant dans le noyau VI ipsilatéral réduit l'activité de ce noyau sur le muscle droit latéral de l'œil gauche et sur le muscle droit médian de l'œil droit (disynaptiquement), ce qui a pour conséquence de relaxer ces deux muscles. Les yeux peuvent ainsi s'orienter vers la droite pour compenser le mouvement inverse de la tête vers la gauche : le monde visuel reste donc stable, ce qui est la fonction du réflexe. Le réflexe est sous le contrôle du cortex cérébral et du cervelet (Orsini et al., 2006).

vous tournez la tête vers la gauche, le RVO compense cette rotation et maintient la direction du regard stable dans l'espace. Si ce n'était pas le cas, l'image sur votre rétine serait floue, comme si on faisait un panoramique rapide avec une caméra. (Rodieck, 2003)

Les influx provenant des conduits semi-circulaires jouent un rôle particulièrement important dans les mouvements réflexes des yeux (Marieb, 2005). Effectivement, le RVO existe grâce aux connexions qu'il y a entre les canaux semi-circulaires

Nous pouvons donc conclure que ce réflexe qui implique deux organes sensoriels a une importance capitale dans la stabilisation du regard et donc dans l'équilibration et le contrôle postural.

1.1.3 Système proprioceptif

La somesthésie est la prochaine source d'informations sensorielles nécessaires à un bon contrôle de l'équilibre que nous allons aborder. Son sens étymologique signifie sensations du corps. Le terme somesthésie est un terme très général qui regroupe l'ensemble des sensations du corps. Nous allons nous intéresser de manière plus précise à la proprioception.

La proprioception est un système sensoriel complexe qui renseigne le système nerveux central sur différents points. Le premier rôle de la proprioception est le sens du positionnement qui informe sur l'angulations des articulations ainsi que sur l'agencement d'un membre par rapport aux autres, par rapport à la tête et par rapport au corps. Tout cela, sans contrôle du système visuel. Le deuxième rôle est le sens du mouvement qui informe, toujours sans contrôle visuel, de la vitesse et de l'amplitude des mouvements articulaires actifs et passifs. Le troisième est le sens de la force, qui informe sur l'importance de la force musculaire nécessaire à l'exécution d'un mouvement ou au maintien de la position des articulations. Le sens de la force se caractérise par sa grande précision et par sa capacité à reproduire des mouvements avec exactitude (Schmidt, 1999).

Pour toutes ces fonctions, différents récepteurs sensoriels, des propriocepteurs, sont répartis un peu partout. Il existe des propriocepteurs dans la peau, les muscles, les tendons, les capsules articulaires et dans les ligaments.

1.1.3.1 Les différents propriocepteurs impliqués dans le contrôle postural

Articulations et ligaments

Il y a deux principaux types des propriocepteurs dans les capsules articulaires, les corpuscules de Ruffini, qui semblent être principalement sensibles à la tension, et les corpuscules de Pacini, qui semblent sensibles à la compression. Ils sont tous les deux largement distribués dans les fibres de collagène de la capsule articulaire.

Les propriocepteurs dans les ligaments et la peau sont similaires à ceux que l'on trouve dans les capsules articulaires. Cependant, il y a moins de propriocepteurs dans les ligaments et la peau que dans les capsules articulaires. De plus, même si la tension dans les ligaments et dans la peau peut être causée par des mouvements

dans différentes directions, il est peu probable que ces propriocepteurs puissent fournir des informations sur la direction spécifique de mouvements. La contribution des propriocepteurs des ligaments et de la peau à la proprioception semble donc assez petite.

Muscles et tendons

Ce chapitre est en grande partie inspiré de l'ouvrage de Marieb (2005).

On appelle les propriocepteurs des muscles « fuseaux neuromusculaires » et ceux des tendons, « organes tendineux de Golgi ». Ils sont tous les deux réceptifs à la tension.

Les fuseaux neuromusculaires sont des propriocepteurs fusiformes répartis dans le périmysium des muscles squelettiques. Chaque fuseau neuromusculaire se compose d'un groupe de myocytes modifiés, qu'on appelle myocytes intrafusoriaux, enfermés dans une capsule de tissus conjonctifs du muscle ; ces terminaisons sont liées aux extrémités du fuseau neuromusculaire. Les myocytes intrafusoriaux permettent donc de détecter l'étirement du muscle alors que des neurofibres amènent les informations sensorielles au système nerveux central, qui va déclencher un réflexe s'opposant à cet étirement.

Les organes tendineux de Golgi se trouvent intégrés dans les tendons, près du point d'insertion du muscle squelettique. Ils se composent de petits amas de fibres tendineuses (collagènes) entre lesquelles ou autour desquelles des terminaisons nerveuses sensibles s'insèrent ou s'enroulent ; le tout est enfermé dans une capsule formée de couches conjonctives superposées. (Marieb, 2005)

L'ensemble de ces propriocepteurs, aussi divers qu'ils soient, joue des rôles en commun.

1.1.3.2 Rôle du système proprioceptif

La distribution chez l'homme des récepteurs proprioceptifs musculaires dans la quasi totalité de la musculature depuis le segment oculaire jusqu'au segment podal suggère l'existence d'une chaîne proprioceptive fonctionnelle reliant entre eux les différents segments corporels (Roll JP, 1988, cité par Pérennou, 2012)

Une des sources majeures d'information sur le rôle des signaux proprioceptifs dans le contrôle postural est l'observation des altérations posturales qui apparaissent

quand les signaux proprioceptifs sont déformés. Si on applique des vibrations à un muscle, cela mène à une activité haute fréquence inhabituelle aux terminaisons des fuseaux neuromusculaires. Si on applique une telle vibration sur un tendon, cela peut provoquer cet effet sur l'ensemble des terminaisons des fuseaux neuromusculaires du muscle. Le système nerveux central est induit en erreur par les informations proprioceptives et interpréterait cela comme une augmentation de la longueur du muscle (Eklund, 1972)

Si ces vibrations sont appliquées à un muscle postural, l'augmentation illusoire de sa longueur est interprétée comme un changement d'orientation du corps. Cette illusion d'oscillations du corps est compensée par un changement de la position du corps (Lackner and Levine, 1979 ; cité par Latash, 2008). Par exemple, des vibrations des tendons d'Achille causent une surestimation de la longueur du triceps sural (la vibration produit un balancement illusoire du corps vers l'avant). L'individu corrige cette illusion de balancement avec un balancement du corps observable vers l'arrière.

Cet effet est très fort si le sujet a les yeux fermés. En effet, la vibration des tendons d'Achille causerait une chute du sujet en arrière.

Des effets similaires peuvent être observés durant la vibration d'autres muscles posturaux. La vibration des muscles de la nuque, par exemple, induit des illusions similaires, respectivement pour la position de la tête (Latash, 2008).

Ceci montre parfaitement bien l'importance du système somatosensoriel dans le contrôle postural. La proprioception est donc impliquée dans le calcul de la position et de l'inertie des différents segments du corps (Pérennou, 2012).

1.1.4 Système sensoriel cutané

Ce chapitre se base essentiellement sur l'article de Lackner et de son groupe (2001). L'information haptique (toucher) est cruciale pour renseigner les propriétés physiques du support : configuration, orientation, rigidité, compliance et stabilité. Ce type d'information contribue de façon privilégiée à la stabilisation lorsque le support est rigide et stable. La contribution des mécanorécepteurs de la sole plantaire au contrôle de la station debout érigée est importante. Elle porte essentiellement sur la détection des petites oscillations à basse fréquence qui vont permettre l'utilisation

d'une stratégie de cheville (Pérennou, 2012). La prise d'une seconde information haptique, tel que le contact de l'index sur une surface fixe peut grandement diminuer les oscillations du corps, même lorsque la force appliquée est bien en deçà de ce qui est nécessaire pour fournir un support mécanique. Le signal du bout du doigt donnent des informations sur la position du bras, du torse et du corps tout entier et peut fortement atténuer la direction et le mouvement des oscillations du corps, et ceci bien avant que les seuils vestibulaires soient dépassés.

L'utilité des informations sensorielles du bout du doigt pour stabiliser l'équilibre dépend de l'habilité à contrôler la configuration du bras par rapport au corps et à la surface de contact. Les sujets ajustent leur musculature posturale afin de minimiser les changements sensoriels au bout des doigts et ainsi stabiliser leur corps (Lackner et al., 2001).

Nous voyons ici que le contrôle postural implique vraiment l'ensemble du corps, de la plante du pied, au bout des doigts. Nous allons voir maintenant comment toutes ces informations fournis par le système sensoriel sont utilisées pour le contrôle postural.

1.1.5 Contribution des afférences sensorielles à la stabilisation

Les afférences sensorielles contribuent schématiquement de deux façons au contrôle postural. Elles interviennent comme signaux détecteurs d'erreurs entre les valeurs souhaitées et observées de la référence régulée d'une part, elles participent à la construction des représentations du corps et de la surface d'appui d'autre part. Il y a de multiples sources d'information sensorielle, chacune ayant un seuil, une sensibilité et un domaine fréquentiel spécifique. Pérennou (2012) insiste sur l'absence de hiérarchie sensorielle pour la stabilisation du corps, la sélection ou pondération physiologique s'opérant en fonction du contexte et du style perceptif individuel.

1.1.6 Le contrôle cérébral de la stabilisation posturale

Nous savons qu'un animal spinalisé est capable de transférer ses appuis d'une patte postérieure à l'autre, mais ce contrôle segmentaire reste très peu élaboré. L'animal décérébré peut supporter son propre poids mais ses capacités de stabilisation restent très modestes, ce qui suggère que les circuits neuronaux allant du tronc cérébral à la moelle épinière ne suffisent pas pour le contrôle de la stabilisation (Pratt et al., 1994, cité par Pérennou, 2012).

Différentes études ont montré l'implication du cortex moteur primaire (M1), du cortex visuel, des lobes cérébraux postérieurs et antérieurs, des ganglions de base (spécialement du putamen) et du tronc cérébral dans le contrôle de l'équilibre chez l'humain (Taube et al., 2015). Il a également été démontré que l'exécution d'une tâche posturale plus exigeante était associée avec une plus haute activité des centres supraspinaux impliqués dans le contrôle postural tels que le cervelet, le putamen, le tronc cérébral et diverses structures néocorticales (Ouchi, 1999, cité par Taube et al., 2015).

La pathologie a largement contribué à la compréhension du rôle critique joué par les ganglions de bases dans le contrôle postural. Ce rôle est complexe du fait de la diversité des structures en jeu et du nombre important de connections. Classiquement, les ganglions de la base interviennent dans le contrôle de l'alignement corporel et du tonus (Martin, 1967, cité par Perennou, 2012). Mais, des recherches plus récentes (Horak et al., 1992 ; Horak et al., 1996, cité par Perennou, 2012) montre que mise à part cela, les ganglions de base sont déterminants dans la sélection des stratégies et synergies ¹(commande motrice) posturales appropriées à la situation.

La pathologie cérébelleuse montre que le cervelet est impliqué dans les ajustements posturaux préparatoires, les réactions posturales (latence et amplitude) ainsi que dans les synergies posturales. Un tremblement postural (3 Hz) peut également être observé dans certains syndrômes cérébelleux. Il existe des liens anatomocliniques suggérant que chaque région du cervelet est impliquée spécifiquement dans le contrôle postural (Diener et al., 1996 ; Ito, 1984, cité par Perennou, 2012).

Le vestibulo-cerebellum joue un rôle important dans le positionnement du tronc. Une lésion du vestibulo-cerebellum mène à une ataxie du tronc associée aux troubles vestibulo-oculaires. Le spinocerebellum reçoit des informations somatosensorielles de l'ensemble du corps et les projette vers la moelle épinière. Il joue un rôle essentiellement dans le traitement des afférences somesthésiques et s'il est lésé,

¹ Synergies posturales : combinaison de signaux contrôlant un certain nombre de muscles dont le but est d'assurer la stabilité d'un membre ou de tout le corps par anticipation d'une perturbation prévisible de la posture ou en réponse à une perturbation réelle (Nikolai Bernstein).

cela mène à une ataxie sévère en position debout. Le pontocerebellum, quant à lui, joue un rôle dans la coordination. Une lésion de ce dernier provoque une asynergie posturale associées à une dysmétrie.

En montrant qu'après une perturbation, les latences de réponses posturales sont de l'ordre de 100ms ou plus, réponses trop lentes pour qu'elles soient spinales, Nashner et McCollum (1985, cité par Perennou, 2012) suggèrent l'existence d'une boucle transcorticale.

Une discussion reste ouverte quant à la prédominance de l'hémisphère droit pour le contrôle postural. Des études montrent que des patients cérébrolésés du côté de l'hémisphère droit ont plus de difficultés à contrôler leur posture (Perennou, 2012).

1.1.7 Ontogenèse des performances posturales

Des étapes successives du développement de la posture ont été décrites : le contrôle postural de la tête, le contrôle posturale du tronc, la position assise, se lever, et la locomotion. L'émergence de ces différents stades dépend de l'état évolutif de plusieurs systèmes, tels que le système musculo-squelettique, le système sensori-moteur, le niveau de motivation et le développement comportemental, ainsi que des contraintes internes et environnementales (Massion, 1994).

Autant le système visuel que le système somato-sensoriel sont cruciaux pour la stabilisation de la tête, du tronc et de l'ensemble du corps, mais la vision est efficace plus rapidement que le système somato-sensoriel.

A chaque stade du développement postural, les informations visuelles mobiles contribuent à maintenir la posture et l'équilibre. Jouen F. (1994 ; cité par Massion, 1994) a montré que la vision et le flux optique avaient un effet sur le balancement de la tête, déjà 2 à 3 jours après la naissance, et sur la posture de la tête à l'âge de 5 mois.

Il y a une amélioration de la stabilité posturale au cours de l'enfance (Boisgontier et al., 2011), et cette amélioration n'est pas régulière, elle est non-monotonique et caractérisée par d'importants changements de stratégies posturales aux alentours de 7-8 ans (Rival et al., 2005 ; cité par Boisgontier et al., 2011). Assaiante & Amblard (1995 ; cité par Boisgontier et al., 2011) constatent notamment, que c'est à cet âge

qu'apparaît une stratégie adulte qui permet une coordination entre les mouvements de la tête et du tronc. Schumway-Cook & Woolacott (1985 ; cité par Boisgontier et al., 2011) avaient montré qu'entre l'âge de 4 et 6 ans, le contrôle postural se basait uniquement sur la prise en compte des informations visuelles, mais qu'entre 7 et 10 ans, les informations proprioceptives étaient également prises en compte.

L'adolescence est une période très dynamique du développement impliquant des changements rapides de la taille, de la stature et de la composition. Cela affecte autant le développement que le comportement. Le début de la puberté correspond à un âge biologique de 11 ans chez les filles et de 13 ans chez les garçons, même s'il y a beaucoup de différences de timing entre chacun (Tanner et al., 1975 ; cité par Palluel, 2010). Même si cette période est caractérisée par une croissance rapide, cette perturbation du schéma corporel n'implique pas de dégradation du contrôle postural. Le taille du corps, la masse du corps et l'âge ne semblent pas avoir d'impact sur le contrôle postural (Lebiedowska et Syczewska, 2000, cité par Palluel et al., 2010).

Le développement des systèmes visuel, vestibulaire et somatosensoriel peut expliquer les changements relatifs à l'âge dans le contrôle de l'équilibre dans une plus grande mesure (Nolan et al., 2005, cité par Palluel et al., 2010).

Nolan et al. (2005, cité par Palluel et al., 2010), n'ont trouvé aucune différence liée au sexe après l'âge de 10 ans, suggérant que les garçons et les filles utilisent les mêmes stratégie de contrôle postural après 10 ans. D'autres études suggèrent que les adolescents âgés de 14 ans n'utilisent pas les mêmes stratégies visuelles et vestibulaires de contrôle postural que les adultes (Hirabayashi et Iwasaki, 1995, cité par Palluel et al., 2010). Ou encore que les adolescents âgés de 14-15 ans négligent de façon transitoire les informations proprioceptives dans le contrôle de l'orientation et de la stabilisation du corps (Viel et al., 2009, cité par Boisgontier et al., 2011). Ils tiendraient plus compte des informations visuelles et leur performance d'équilibre en serait plus faible. La performance des garçons serait particulièrement affectée.

Finalement, différentes études réalisées montrent que les stratégies de contrôle postural restent différentes de celles des adultes jusqu'à un âge de 16 à 17 ans (Palluel et al., 2010).

1.1.8 Les adaptations à l'entraînement d'équilibre

Le fait d'entraîner l'équilibre ne mènera pas uniquement à des améliorations de la performance en équilibre. Pour comprendre les adaptations qui suivent un entraînement d'équilibre, un bref survol de la littérature paraît important. Nous avons vu au chapitre précédent que l'enfant et l'adolescent n'utilisaient pas les mêmes stratégies posturales qu'un adulte, et qu'un enfant n'utilisait pas les mêmes stratégies posturales qu'un adolescent. Les effets d'un même entraînement peuvent donc être totalement différents en fonction de l'âge des personnes. Mais l'âge des participants n'est pas la seule variable qui peut influencer l'efficacité d'un entraînement d'équilibre. En effet, le type d'entraînement et sa périodicité ont une influence. En faisant un bref survol de la littérature, ces différences seront mises en évidence.

L'étude de Granacher et al. (2010) montre très bien les effets d'un entraînement postural sur de jeunes adultes. Cette étude sera un bon point de comparaison. 10 jeunes adultes (âge moyen = 19) ont participé à 4 semaines d'entraînement d'équilibre, comprenant 3 séances hebdomadaires de 30 minutes. L'entraînement était tout ce qu'il y a de plus classique et comprenait différents exercices sur surfaces instables (tapis en mousse, disque d'équilibre, planche d'équilibre, ...etc.).

Pour mesurer les effets de cet entraînement, 3 différents tests ont été réalisés. Un test d'équilibre sur une plateforme semblable à celle utilisée dans notre étude, une mesure de la hauteur de saut sur une plateforme de force et une mesure de la force des extenseurs de la jambe sur une presse.

Cette étude montre très bien l'efficacité d'un entraînement d'équilibre pour les 3 mesures. En effet, les participants à l'entraînement ont montré une diminution du déplacement du COP sur la plateforme d'équilibre, une augmentation de la hauteur de saut et une augmentation de la force des extenseurs de la jambe.

Cette étude est donc un bon exemple des effets que peut avoir un entraînement d'équilibre chez de jeune adulte. Nous avons vu que les adolescents utilisaient des stratégies posturales différentes de celles des adultes jusqu'à l'âge de 16 – 17ans.

Granacher et al. (2011b) ont testé les effets d'un entraînement d'équilibre sur des enfants prépubères (âge moyen : 6.7 ± 0.5). L'entraînement était donné dans le cadre de l'école. Les enfants du groupe intervention participaient à 3 séances d'entraînement hebdomadaires de 60 minutes. L'entraînement était très classique, comme celui qu'on donnerait à des adultes, comportant uniquement des exercices sur surface instable.

Pour mesurer les effets de l'entraînement, Granacher et al. ont utilisé un test sur une plateforme d'équilibre semblable au PosturomedTM utilisé dans notre étude. En plus de cela, ils ont mesurés l'effet de l'entraînement d'équilibre sur la hauteur de saut lors d'un exercice de CMJ et la contraction maximale volontaire des fléchisseurs plantaires.

Les résultats de cette étude n'ont montré aucune progression significative pour l'ensemble des tests. Ces résultats sont cohérents avec la théorie de l'ontogenèse du contrôle postural. Effectivement un enfant de 6-7 se trouve juste avant une grande transition. Les enfants montreraient des stratégies posturales semblables à celle des adultes uniquement après l'âge de 8 ans. Ces enfants ont encore un contrôle postural immature et ne peuvent donc pas profiter des bienfaits d'un entraînement d'équilibre. Nous pouvons également spéculer sur le fait qu'un entraînement d'équilibre classique ne soit pas très intéressant pour des enfants de cet âge et qu'il n'aura certainement pas su motiver les enfants comme il le faut.

Keller et al. (2014) ont mené une étude sur des enfants âgés d'environ 13 ans (âge moyen = 13.1). La particularité de l'entraînement visant à améliorer le contrôle postural est la pratique du patin à glace. Les enfants ont participé à 4 semaines d'entraînements de patin à glace standard, comprenant deux sessions hebdomadaires de 90 minutes. Ce régime d'entraînement a notamment été utilisé pour donner un caractère ludique au travail de l'équilibre et ainsi garder les enfants motivés.

Pour évaluer le contrôle postural, des tâches de transfert ont été effectuées sur la même PosturomedTM que dans notre étude. Deux tests étaient réalisés sur cette plateforme. Un test d'équilibre sur une jambe sans perturbations et un autre, toujours sur une jambe, avec une perturbation latérale.

Cette étude a montré une progression significative pour l'ensemble des 3 tests à la suite de l'entraînement. C'est la première étude qui montrait une augmentation de la

performance d'équilibre chez des enfants lorsqu'elle est testée avec des tâches de transferts.

Cette étude montre que les enfants de 13 ans progressent à la suite d'un entraînement d'équilibre. Cela montre également que pour obtenir des progrès, un entraînement ne doit pas absolument être composé que d'exercices sur surface instable. Cela suggère une certaine liberté dans la préparation d'un entraînement visant à améliorer les performances du contrôle postural.

Muehlbauer et al. (2013) ont également utilisé un régime d'entraînement différent d'un entraînement d'équilibre classique. Ils ont fait pratiquer le inline skating à des enfants âgés d'environ 11 ans (âge moyen = 11.2). Les enfants ont participé à 4 semaines d'entraînements comportant 2 séances hebdomadaires de 90 minutes. Les entraînements étaient des entraînements de inline standart, avec un apprentissage de la chute, des virages, du freinage, ...etc.

Les performances d'équilibre étaient évaluées par un « star excursion balance test ». Un test de CMJ était également réalisé pour évaluer l'effet de l'entraînement sur la hauteur de saut. Ils ont observé une amélioration significative de l'équilibre à la suite de l'entraînement de Inline, et également une augmentation significative de la hauteur de saut.

Cette étude montre que des enfants de 11 ans progressent à la suite d'un entraînement de Inline. Cela montre encore une fois, qu'un entraînement visant à améliorer le contrôle postural peut être composé d'une grande diversité de pratique et d'exercices.

Donath et al. (2013) ont quant eux mené un entraînement de slackline avec des enfants d'une dizaine d'année (âge moyen : 10.1). Les enfants s'entraînaient sur la slackline 5 fois par semaine. Chaque jour de la semaine, dans le cadre de l'école, les enfants s'exerçaient durant 10 minutes.

Pour tester l'évolution des performances après la période d'entraînement, différentes mesures ont été prises. La capacité à tenir sur la slackline sur un pied et sur les deux pieds, tenir sur une plateforme d'équilibre, marcher en arrière sur des poutres de différentes largeurs, tests de sauts sur une plateforme de force. Et en plus de cela, l'activité musculaire était enregistrée durant les différentes mesures.

Les résultats de cette étude montre une augmentation significative des performances sur la slackline. Par contre, les progrès fait sur la slackline ne se transmettent pas aux autres tests. En effet, aucun effet significatif n'est observé pour les autres mesures.

Cette étude montre que les progrès peuvent être très spécifique à un régime d'entraînement. C'est pourquoi dans notre étude l'entraînement sera complet et varié.

Le survol de ces études a permis de montrer que l'âge avait, comme la théorie sur l'ontogenèse du contrôle postural le prédisait, une influence sur l'effet qu'avait un entraînement d'équilibre sur l'humain. Il a également permis de montrer qu'une grande variété de pratique sportive permettait une amélioration du contrôle postural chez les enfants et les adolescents. Finalement ce survol a permis de montrer que les effets liés à un entraînement de l'équilibre ne se limite pas à une amélioration du contrôle postural.

Pour résumer, voici les différents changements qu'un entraînement d'équilibre est susceptible de provoquer. Ces changements seront donc bien évidemment variable en fonction de l'âge ou du régime d'entraînement.

Les adaptations fonctionnelles

Donath et al. (2013), comme montré ci-dessus, a prouvé qu'un entraînement de slackline fait avant tout progresser les performances en slackline. En revanche, cette étude montre que les adaptations fonctionnelles restent assez spécifiques à la slackline et que les progrès ne sont pas transférables à d'autres tests d'équilibre.

D'autres approches s'éloignant de l'entraînement d'équilibre classique ont montré qu'elles pouvaient également améliorer la performance en équilibre. C'est le cas de Lauber et al. (2011), qui montre que la pratique du ski alpin permet d'améliorer les performances d'équilibre.

Que ce soit chez les enfants ou les adultes, une amélioration du contrôle postural suite à un entraînement d'équilibre apportera des adaptations fonctionnelles. Keller et al. (2014) ont montré que des enfants amélioraient leur contrôle postural à la suite d'un entraînement de patin à glace. Lauber et al. a montré des améliorations du contrôle postural chez des personnes âgées à la suite d'un entraînement de ski.

Les adaptations de la force

De nombreuses études ont montré que, très souvent, un entraînement d'équilibre permettait non seulement une amélioration de l'équilibre, mais également très souvent de la force. Gruber et al. (2007), ont montré une amélioration du taux de développement de la force après un entraînement d'équilibre sur surface instable (entraînement sensorimoteur). En effet, ils ont montré que l'entraînement sensorimoteur permettait d'avoir plus de puissance en peu de temps, de gagner en force explosive. Ils en ont conclu que ce type d'entraînement pourrait être utilisé pour les sports qui demandent beaucoup de force explosive et une forte demande posturale. Granacher et al. (2010) montre également une augmentation du taux de développement de la force pour les extenseurs de la jambe, chez des adolescents, après un entraînement d'équilibre. De telles adaptations n'ont par contre pas été observées chez de jeunes enfants. Granacher et al. (2011b) n'ont pas montré d'augmentation significative de la force chez des enfants de 6 à 7 ans.

L'augmentation de la force à la suite d'un entraînement d'équilibre dépendrait donc en partie de l'âge des participants.

Les adaptations des capacités de sauts

En plus des améliorations de l'équilibre, de l'augmentation de la force explosive, des études ont montré qu'un entraînement d'équilibre pouvait conduire à une amélioration de la hauteur de sauts. C'est le cas de Granacher et al. (2010), qui a montré une augmentation de la hauteur pour les squat jumps et les countermovement jumps après un entraînement d'équilibre classique chez des adolescents (âge moyen= 19). C'est également le cas après un entraînement de inline skating pour des enfants d'environ 11 ans (Muehlbauer et al., 2013).

Chez les très jeunes enfants, comme pour l'adaptation de la force, aucune certitude n'a été prouvée sur l'augmentation des capacités de sauts. Granacher et al. (2011b) n'ont observé aucune progression significative chez des enfants de 6 à 7 ans.

Les adaptations relevées jusqu'ici ne sont que la partie émergée de l'iceberg. En effet, cette petite revue de la littérature, a permis de montrer que les effets d'un entraînement d'équilibre peuvent se séparer en deux parties. Les adaptations que

l'on remarque de l'extérieur d'une part, telles que les adaptations fonctionnelles, l'adaptation de la force ou encore l'adaptation des capacités de sauts. D'autre part, il y a les adaptations que l'on ne voit pas de l'extérieur, qui sont les adaptations neurophysiologiques.

Les adaptations neurophysiologiques

Nous venons de voir qu'un entraînement d'équilibre permettait non seulement d'améliorer le contrôle postural, mais également des points beaucoup plus fonctionnels (tenir sur une slackline), le taux de développement de la force ou encore les capacités de sauts. La question est de savoir comment le système nerveux s'adapte en réponse à un entraînement d'équilibre pour remplir toutes ces différentes actions. Taube (2012) en a fait un résumé dans lequel il décrit les différentes adaptations du système nerveux à un entraînement d'équilibre. Il les divise en deux parties. Premièrement, les adaptations spinales et deuxièmement les adaptations cérébrales.

En ce qui concerne les adaptations spinales, le système nerveux central, durant un entraînement d'équilibre, apprend à ajuster de manière adéquate les réponses réflexes spinales de manière à ce que les oscillations articulaires causées par ces réflexes soient évitées. C'est par exemple le cas pour un entraînement de slackline, où les réponses réflexes vont être inhibées pour diminuer le tremblement (Keller et al. 2012). Mais Taube (2012) mentionne bien que l'entraînement d'équilibre ne change pas le comportement réflexe en soi, mais qu'il semble améliorer la capacité à trouver le bon réglage pour certaines conditions posturales. L'entraînement d'équilibre améliore donc la modulation des réflexes de manière spécifique à la tâche.

Les adaptations au niveau cérébral. Les réactions compensatoires en réponse à des perturbations soudaines sont composées premièrement d'activité résultant d'activation des circuits réflexes spinaux, puis suivis par l'activité traitée par une boucle transcorticale. La contribution spinale est appelée réponse de courte latence (SLR) ou de moyenne latence (MLR) et ces réponses apparaissent environ 50 à 70ms après la perturbation. Toute l'activité musculaire qui apparaît par la suite, autour de 90 à 120ms, est déjà influencée par les centres du cortex moteur et ces

réponses sont appelées réponses de longue latence (LLR). Nous avons vu précédemment que mis à part le cortex moteur, de nombreuses autres structures supraspinales, telle que le cervelet, les ganglions de la base ou le tronc cérébral supportent d'importantes fonctions dans l'organisation du contrôle postural.

Des études ont montré que l'activité corticale motrice diminue après 4 semaines d'entraînement d'équilibre (Taube et al., 2007). Et ce qui est encore plus intéressant, c'est le fait que les sujets qui ont montré la plus grande adaptation corticale sont ceux qui ont le plus progressé dans le contrôle postural.

Taube (2012) fait un parallèle entre ces adaptations corticales et des études sur l'acquisition de compétence. Dans ces études, l'activité corticale, grande durant la phase d'acquisition de la tâche, diminuait au fur et à mesure de l'entraînement, lors de l'automatisation de la compétence. Et inversement, l'activité subcorticale augmente parallèlement à l'automatisation de la tâche (Puttermanns et al., 2005, cité par Taube, 2012).

Pour résumer, l'entraînement de l'équilibre mène à un déplacement du contrôle du mouvement, des structures corticales vers un plus grand contrôle des structures subcorticales.

1.2 La dual task

Réaliser une dual task, c'est-à-dire s'engager dans deux activités simultanément, est très commun dans la vie de tous les jours. Le simple fait de marcher et de parler en même temps s'apparente à une situation de dual task. En réalité, le fait de réaliser des tâches posturales, qu'elles soient statiques ou dynamiques, simultanément avec une tâche cognitive, est plutôt la règle que l'exception (Lacour et al., 2008).

Les situations sportives sont également pleines de situations de dual task, dribbler une balle de basketball tout en courant, prendre des décisions tactiques tout en réalisant le geste technique correct, ou encore boire à sa gourde tout en pédalant. Nous pouvons même dire que des situations de sport sans dual task sont très rares.

Le paradigme de la double tâche est typique pour étudier l'interaction entre des processus cognitifs et le contrôle postural. Ce paradigme comporte quelques

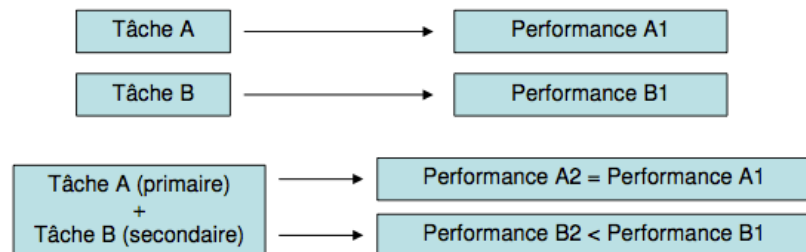


Fig. 3 : Illustration du paradigme de la double tâche (Boisgontier et al., 2011)

points méthodologiques. En premier lieu, les participants réalisent deux tâches séparément pour lesquelles on mesure la performance. Et puis les participants réalisent les deux tâches de manière simultanée. Dans la condition de dual, l'une des tâches est définie comme étant la tâche primaire (le maintien postural) que les participants doivent réaliser de manière prioritaire et si possible aussi bien que la tâche réalisée seule. L'autre tâche, nommée tâche secondaire (test stroop) doit être réalisée du mieux que possible (Boisgontier et al., 2011).

1.2.1 La double tâche et la mesure de l'attention

Quand les capacités attentionnelles du système nerveux central sont dépassées, une situation concurrentielle s'installe entre les deux tâches, la performance de la tâche secondaire diminue. Cette altération de la performances pour la tâche secondaire indique le coût attentionnel que nécessite la réalisation de la tâche primaire (Figure 3) (Boisgontier et al., 2011). Ce paradigme est donc utilisé pour mesurer le coût attentionnel de la tâche primaire.

Le paradigme expérimental de la dual task remonte à 1971 et à l'expérience de princes de Posner et Boes (Roulin, 2006). Le sujet doit juger de l'identité de deux lettres présentées successivement et doit aussi appuyer le plus vite possible sur un bouton en réponse à un signal sonore. Par rapport à une mesure de référence où chaque tâche est exécutée séparément, l'allongement des temps de réaction à la tâche secondaire constitue un indicateur de l'accroissement des ressources consommées par la tâche primaire. Plus la tâche principale consomme de ressources et moins il en reste pour la tâche secondaire. Ce paradigme de la dual task a été utilisé dans de nombreux domaines pour évaluer différents mécanismes liés à l'attention.

1.2.2 L'attention et les ressources attentionnelles

Avant de rentrer plus en détail dans le thème de la dual task, il me semble important de développer le thème de l'attention, thème crucial pour comprendre les mécanismes de dual task.

L'attention est définie par Woollacott et Shumway-Cook (2002) comme étant la capacité de traitement d'informations d'un individu. Et de cette théorie de l'attention de ressources où de capacités limitées, Pellecchia (2005) présume que la capacité de traitement du cerveau ou les ressources disponibles pour le traitement sont limitées et que la réalisation de n'importe quelle tâche requière une portion de cette capacité. Et par conséquent, l'attention nécessaire à la réalisation de deux tâches simultanées serait la somme des besoins attentionnels.

Finalement, ce qu'on va appeler interférence, apparaît lorsque les demandes des deux tâches réalisées excèdent la capacité limite. Nous verrons plus loin que différents modèles expliquent l'effet d'une deuxième tâche sur une première et ce mécanisme d'interférence.

La théorie de l'attention de capacité limitée a été remise en question. La théorie de « Action-selection » offre une autre approche pour comprendre l'attention et les performances lors de dual task. Elle remet notamment en question l'hypothèse que les besoins attentionnels pour une dual task soient simplement la somme des ressources attentionnelles des deux tâches et que l'allocation des ressources soit

semblables à la distribution de « parts de tarte ». (Neumann, 1987, cité par Pellecchia, 2005). Neumann (1987) soutient que deux tâches réalisées en même temps ne sont pas deux actions dépendantes. Le système moteur intégrerait les deux activités réalisées simultanément au moyen de plans d'action et la coordination entre les tâches s'acquerrait avec la pratique (Neumann, 1984, p.384, cité par Pellecchia, 2005).

Nous reviendrons sur ces deux théories plus loin lorsque nous parlerons de l'entraînement de la dual task.

1.2.3 Effets de l'ajout d'une tâche secondaire sur le contrôle postural

Il a souvent été pensé qu'une position debout toute simple était régulée automatiquement, mais de nombreuses études se penchant sur les situations de dual task ont montré un lien clair entre la régulation des oscillations du corps et des processus cérébraux (Lajoie et al., 1993, cité par Palluel et al., 2010). Un minimum d'attention est nécessaire pour rester debout, même chez de jeunes adultes en parfaite santé. Et plus la tâche posturale devient compliquée (debout sur un pied, par exemple), plus importantes seront les ressources attentionnelles nécessaires (Dault et al., 2001, cité par Palluel et al., 2010). Et il en vient de même pour une tâche cognitive. Plus cette dernière deviendra compliquée, plus les ressources attentionnelles demandées seront importantes (Palluel et al., 2010).

Très souvent, la réalisation d'une dual task mène à une détérioration de la performance par rapport à la condition single task. Ce sont donc des interférences dues à la situation de dual task, qui est une altération de la performance d'une, ou des deux tâches, lorsqu'elles sont réalisées de manière simultanée (Schmidt et Lee, 1999, cité par Pellecchia, 2010).

Le niveau d'interférence varie en fonction de la nature des tâches demandées. Nous savons que les interférences seront plus importantes si les deux tâches se réfèrent au même système fonctionnel (Abernethy, 2001, cité par Bernier et al., 2009). Par exemple, deux tâches motrices réalisées simultanément, jongler en se maintenant sur une planche d'équilibre, conduiront à plus d'interférences, que la réalisation d'une tâche motrice et d'une tâche cognitive simultanée. Des études ont également

montré que le type de tâche cognitive avait une influence sur la nature des interférences. En effet la nature de l'interférence diffère selon que la tâche cognitive concurrente est verbale (ex : test stroop), mathématique (ex : calcul), ou tout autre type de tâches mentales (Boisgontier et al., 2011). Palluel et al. (2010) ont par exemple montré qu'une tâche de comptage à rebours créait beaucoup plus d'interférence qu'une tâche stroop.

Nous savons que les tâches cognitives (par exemple, test stroop ou compter à l'envers) et les tâches motrices (par exemple, équilibre en position de tandem ou sur un pied) requièrent des mécanismes cognitifs communs qui impliquent une relation conflictuelle lorsqu'elles sont réalisées en même temps (Kerr et al., 1985, cité par Palluel et al., 2010).

Différentes études montrent des résultats très différents lorsque le niveau de difficulté de la tâche cognitive est augmenté. Selon Blanchard et al. (2005, cité par Palluel et al., 2010), l'augmentation de la difficulté de la tâche cognitive mène à une détérioration de la tâche motrice (déplacement du CoP), alors que selon Andersson et al. (2002, cité par Palluel et al., 2010) cela mène à une diminution du déplacement du CoP. Finalement, selon Kerr et al. (1985, cité par Palluel et al., 2010), l'augmentation de la difficulté de la tâche cognitive n'a aucun effet sur la performance à la tâche motrice.

Inversément, la performance à la tâche cognitive peut être altérée avec une augmentation de la tâche motrice, vibration des mollets (Andersson et al., 2002, cité par Palluel et al., 2010), équilibre sur une poutre (Barra et al., 2006, cité par Palluel et al., 2010), ou encore avec une perturbation des informations sensorielles chez les personnes âgées (Teasdale et al., 1993, cité par Palluel et al., 2010). La performance peut également restée inchangée (Andersson et al., 2002 ; Barra et al., 2006, cité par Palluel et al., 2010).

Tous ces résultats paraissent très contradictoires et différents modèles sont utilisés pour expliquer ces différences. Voici ici trois modèles, que l'on appelle modèles de Lacour (Lacour et al., 2008), qui expliquent les divers effets de la seconde tâche.

Dans le premier model, le « Cross-domain competition model », l'attention est partagée entre la tâche posturale et la seconde tâche. Ce partage de l'attention dans les situations de dual task crée une compétition entre la tâche posturale et la seconde tâche qui mène à une détérioration de la stabilité posturale et/ou à une détérioration de la performance de la seconde tâche. L'activité dual task sera moins performante que l'activité single task en raison du partage des ressources attentionnelles. C'est par exemple le cas dans l'étude de Reilly et al. (2008) dans laquelle l'addition d'une tâche cognitive, tâche de mémoire visuel, a fortement fait baisser les performances posturales d'enfants de 4 à 6 ans.

Le second modèle de Lacour, le modèle appelé « U-shaped non linear interaction model », postule que la réalisation d'une seconde tâche peut aussi bien améliorer qu'altérer la stabilité posturale. Cela dépendrait du niveau de difficulté de la seconde tâche. Une augmentation de la stabilité posturale dans une situation de dual task peut être observée avec une seconde tâche qui demande peu de ressources attentionnelles. Cette seconde tâche facile permet de détourner l'attention du contrôle posturale qui résulte automatiquement à une amélioration de la stabilité posturale. En effet, la focalisation attentionnelle, comme le décrit Boisgontier et al. (2011) mène à une détérioration de la stabilité posturale. Différentes études ont clairement montré que le fait de se focaliser sur une seconde tâche permettait d'améliorer la stabilité posturale. Une explication de cette détérioration en situation single task est que la focalisation attentionnelle sur le contrôle de la posture implique une augmentation du contrôle volontaire qui vient interférer avec les processus habituels du contrôle automatique généralement sollicités (Wulf & Prinz, 2011 ; cité par Boisgontier et al., 2011). Ces dégradations sont également associées, d'un point de vue neurologique, à une augmentation de l'activité neuromusculaire. Cette modulation de l'activité neuromusculaire est interprétée comme une augmentation de recrutement d'unités motrices par le contrôle moteur volontaire. Ceci conduit à une augmentation de la force musculaire développée, qui va conduire à l'altération de la précision du contrôle de la posture (Boisgontier et al., 2011). Cependant, l'augmentation du niveau de difficulté de la seconde tâche mène à une baisse de la stabilité posturale.

En résumer, exécuter une tâche secondaire simple peu permettre d'améliorer le contrôle postural en déléguant ce dernier à des processus sensori-moteurs

subcorticaux. Et dans le même temps, une augmentation de la difficultés de la tâche cognitive conduit généralement à une dégradation du contrôle postural.

Le troisième modèle, le « Task prioritization model », postule que les personnes âgées tendent à mettre la priorité sur la stabilité posturale. Ils mettent l'accent sur le contrôle postural plus que sur la performance cognitive. Les personnes âgées utilisent de manière prédominante la « stratégie des hanches » (utilisation de l'articulation des hanches pour se maintenir en équilibre) pour éviter les chutes. Cette stratégie demande plus de ressources attentionnelles que la « stratégie des chevilles » (utilisation des muscles de la chevilles pour maintenir l'équilibre) qu'utilise le plus souvent les jeunes adultes. Pour éviter les chutes, l'utilisation des hanches est plus sûre pour les personnes âgées.

Même après avoir lu beaucoup d'articles sur le sujet de la dual task, il est difficile de se faire une idée précise sur lequel de modèle explique le mieux ce phénomène de la dual task. En effet, une grande quantité de variables rentrent. La difficulté de la tâche, le type de tâche, mais également l'âge des participants. Nous allons voir dans le chapitre suivant, comment l'âge influence la réalisation d'une dual task et les performances réalisées.

1.2.4 Coût attentionnel du contrôle postural en fonction de l'âge

Avant d'aborder dans le détail les performances de différentes groupes d'âge en situation de dual task, ce chapitre aborde l'évolution du coût attentionnel que nécessite le contrôle postural en fonction de l'âge.

Durant le cycle de vie, le coût attentionnel du contrôle postural va fluctuer. En fonction du développement ou de la détérioration de certains systèmes du corps, le contrôle de l'équilibre et de la posture s'en verra amélioré ou péjoré. Nous allons faire un survol des différents âges importants durant lesquels les coûts attentionnels du contrôle postural se modifient.

Chez le jeune enfant, déjà en 1974, Wickens (cité par Boisgontier et al., 2011) émettait l'hypothèse selon laquelle la capacité attentionnelle augmenterait avec l'âge chronologique. Une étude de Fleury, Bard, et Nobécourt (1986, cité par Boisgontier

et al., 2011), s'intéressant à des situations de dual task, a confirmé cette hypothèse en démontrant que des enfants de 6, 7, 8 ans sont plus affectés par la réalisation d'une dual task qu'un enfant de 11 ans.

Deux explications théoriques dans le développement de

l'attention chez l'enfant ont été envisagées. Les ressources attentionnelles mobilisées pouvant être considérées comme :

- Selon Wickens (1974, cité par Olivier et al., 2010), les ressources attentionnelles sont un mécanisme attentionnel.
- Mais selon Olivier et al. (2003, cité par Olivier et al., 2010), les ressources attentionnelles sont un ensemble de processus indépendants tels qu'une recherche scientifique (over search), un filtrage de l'information (filtering), ou bien encore une préparation préalable à l'apparition de l'information (priming).

Si on prend en compte ces théories, deux visions distinctes du développement des capacités de l'enfant à se confronter à une situation de dual task se dessinent. Avec l'idée que se fait Wickens des ressources attentionnelles, le même unique système attentionnel est impliqué, peu importe la nature de la situation de dual task. Et c'est la progression de cet unique système qui fait que l'enfant s'améliore avec l'âge. Par contre, selon l'idée de Olivier et son groupe, les différents systèmes composant les ressources attentionnelles se développeraient de manière indépendante au cours de l'enfance et seraient impliqués de manière différente selon la nature de la dual task (Olivier et al., 2010).

Une étude menée par Olivier, Palluel et Nougier en 2008 (cité par Boisgontier et al., 2011) a démontré que la stabilité posturale augmentait de façon inversement

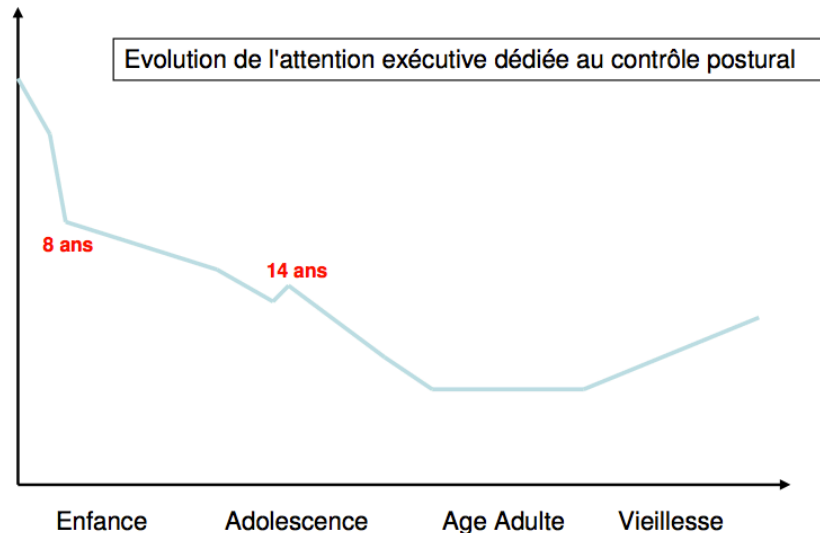


Fig. 4 : Représentation schématique de l'évolution de la demande en attention exécutive dédiée au contrôle postural au cours de la vie (Boisgontier et al., 2011)

proportionnelle à l'attention allouée, et ce, dès l'âge de 4-5 ans. Ceci signifie que dès cet âge précoce, le processus d'automatisation du maintien d'une posture statique est acquis et qu'il devient plus performant. Olivier et al., (2010) ont mené une étude de dual sur des enfants de différents âges et ont constaté que les performances des enfants de 7 ans étaient encore fortement altérées par une situation de dual task. Et cette dégradation disparaît à 8 ans. En résumé, comme c'était le cas pour le développement du contrôle postural, l'augmentation de l'attention exécutive est non-monotonique et comporte un tournant vers l'âge de 8 ans (Figure 4) (Boisgontier et al., 2011).

La période de l'adolescence, la période de la puberté, est une étape marquante comme elle été décrite précédemment dans le chapitre sur l'ontogenèse du contrôle postural. Dans une recherche de Palluel, Nougier et Olivier (2010), les ressources attentionnelles mobilisées lors du contrôle postural ont été étudiées avec une situation de dual task. Aucune différence entre filles et garçons n'a été observée. Par contre, les auteurs ont constaté une période charnière vers 14-15 ans en situation de dual task. Les performances posturales étaient moins bonnes durant cette période, et ceci peu importe la nature de la tâche cognitive.

Ce tournant observé à 14-15 ans peut certainement s'expliquer par la difficulté des adolescents à allouer efficacement les ressources attentionnelles nécessaires à la dual task. Ceci en raison du passage d'une étape développementale à une autre (Boisgontier et al., 2011). Il s'agirait donc d'une deuxième période charnière, après celle apparaissant vers l'âge de 8 ans (figure 4).

Chez les personnes âgées, des modifications physiologiques liées au vieillissement conduisent à une détérioration du contrôle postural. En effet, on observe une dégénérescence des différents récepteurs sensoriels, qu'ils soient musculaires, articulaires, cutanés ou encore vestibulaires (Boisgontier et al., 2011). Teasdale et al. (1993 ; cité par Boisgontier et al., 2011) ont démontré que cette réduction des informations sensorielles disponibles menait à une augmentation de la demande attentionnelle posturale chez les personnes âgées en rapport à de jeunes adultes. Cette augmentation de ressources attentionnelles pour le contrôle postural renvoie au modèle de « Task prioritization » de Lacour (Lacour et al., 2008), qui postule que les personnes âgées vont mettre la priorité sur le contrôle postural. Schumway-Cook

et al. (1997 ; cité par Boisgontier et al., 2011) expliquent ce type de résultats par un principe de « cognition en premier » chez les sujets jeunes, et au contraire, « la posture en premier » chez les sujets âgés.

1.2.5 Evolution des performances en dual task en fonction de l'âge

Si l'on prend en compte l'évolution du contrôle postural au cours de la vie et l'évolution des ressources attentionnelles, l'hypothèse sur l'évolution des performances en dual serait une relation en U. Ruffieux et al. ont montré dans leur revue que cette hypothèse était totalement confirmée pour les personnes âgées, en démontrant que leur performances en condition dual task se dégradait plus que chez les jeunes adultes. Pour la partie qui nous intéresse le plus, c'est-à-dire l'enfance et l'adolescence, il n'existe pas de réelle certitude sur l'influence de la réalisation d'une double tâche. Il existe bien une tendance penchant vers de meilleures performances chez de jeunes adultes que chez les enfants, mais cette relation n'est pas encore clarifiée.

La difficulté lorsque l'on souhaite comparer l'influence d'une dual task sur différents groupes d'âge est l'obligation d'avoir le même paradigme. En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, un grand nombre de variable, en plus de l'âge, influence les performances en dual task. Cela limite donc le nombre d'étude susceptible de fournir des réponses à la question de l'influence de l'âge sur la performance en dual task. La comparaison des performances en dual task entre les adultes et les enfants a été le sujet de beaucoup d'études par rapport à la comparaison entre les adultes et les personnes âgées. Ruffieux et al. n'ont, dans leur revue, recensé que 5 (Olivier et al., 2007, Olivier et al., 2010, Reilly et al., 2008, Palluel et al., 2010, Schaefer et al., 2008) études comparant les performances en dual de différents groupes d'âge d'enfants, d'adolescents et d'adultes. Parmi ces 5 études, 4 n'ont pas mesuré les performances en single task pour la tâche secondaire, rendant le calcul de l'effet de la dual task sur cette tâche impossible. Seule la recherche de Schaefer et al. (2008) l'on fait. Nous allons reprendre ces études plus en détails pour analyser de plus près leurs résultats.

Palluel et al. (2010) ont évalué la différence de performance entre des adolescents âgés de 12 à 17 ans (3 groupes : 12-13 ans, 14-15 ans et 16-17 ans) et des jeunes adultes (âge moyen : 26.1). Ils ont utilisé comme tâche posturale une position de

semi-tandem, soit sur une surface dur, soit sur une surface en mousse. Le déplacement du COP était mesuré grâce à une plateforme de force. Et comme tâche cognitive, un test stroop et une tâche de comptage à rebours ont servi de mesure. Pour la tâche posturale, les chercheurs ont constaté une différence de performance relative à l'âge entre le groupe de 14-15 ans, le groupe de 16-17 ans et le groupe des adultes. En effet, les performances du groupe de 14-15 ans se sont montrées significativement moins bonnes que celles des deux groupes plus âgés. Pour les tâches cognitives, seule la tâche de comptage à rebours a montré des différences de performances relatives à l'âge. En effet, les adultes se sont montrées beaucoup plus rapides et précis que l'ensemble des groupes d'adolescents. Par contre, pour le test stroop, aucune différence significative relative à l'âge n'a été observée. Cette distinction de résultats entre les deux tests montre la différence de ressources attentionnelles nécessaires aux différents tests. Et ces résultats montrent que les performances en « comptage à rebours » augmentent encore après l'adolescence.

Pour résumé, nous voyons dans cette étude que la réalisation d'une tâche simultanée (Stroop ou comptage) amène à une plus grande augmentation du déplacement du COP chez les adolescents de 14-15 ans que chez les adolescents de 16-17 ans et que chez les adultes. Par contre, le fait qu'aucune mesures n'ai été faite pour la tâche secondaire en condition single task ne permet pas de quantifier l'effet de la condition dual task sur cette tâche.

Olivier et al. (2007 et 2010) ont mis en place un design d'expérience pour tester l'effet de la réalisation d'une tâche cognitive sur le contrôle postural. Dans deux études distinctes, ils ont utilisé ce design sur différents groupes d'âge.

Pour ces deux études, la tâche posturale exécuté est une position de semi-tandem sur une plateforme de force, soit sans vibration du tendon d'Achilles, soit avec vibrations du tendon d'Achilles. Dans les deux études, ils ont utilisé comme tâche cognitive un test Stroop modifié. Le test Stroop était modifié pour qu'il soit accessible à l'ensemble des participants.

Dans la première de leurs études (Olivier et al., 2007), ils ont donc utilisé cette méthode pour comparer les performances d'enfants âgés de 7 ans à celles d'adultes (âge moyen = 25.7).

Les résultats montrent une plus grande oscillation posturale chez les enfants que chez les adultes, ceci en condition single task ou dual task et quelque soit le niveau de difficulté de la tâche. Ceci étant en adéquation avec l'ontogenèse du contrôle postural. Les résultats ont également montré que le pourcentage de bonnes réponses au test Stroop était le même chez les adultes et les enfants. Les adultes étaient par contre plus rapides, ceci venant de leur plus grande capacité de traitement de l'information. Par contre, les résultats ne montrent pas de différence entre les enfants et les adultes dans la différence single /dual pour la tâche posturale. En effet, l'addition d'une tâche cognitive modifie les caractéristiques du contrôle postural chez les adultes et déjà chez les enfants de 7 ans. Comme dans l'étude précédente (Palluel et al., 2010), il est dommage qu'il n'y a pas eu de mesure single task pour la tâche cognitive.

Dans la seconde de leurs études (Olivier et al., 2010), ils ont utilisé cette même méthode sur des enfants de 7 à 11 ans et sur des adultes. 46 participants étaient séparés en 6 groupes d'âges (7, 8, 9, 10, 11 et adulte (âge moyen = 25.7)).

Les résultats ont montré une différence relative à l'âge pour la tâche posturale. En effet, seuls les plus jeunes enfants ont montré de plus mauvais résultats pour la condition dual task que pour la condition single task. Ceci suggérant que l'addition d'un Stroop test modifié n'altérerait que le contrôle postural des plus jeunes enfants (7ans). Encore une fois, l'absence de mesure de la performance en condition single task pour la tâche secondaire est regrettable et empêche de fournir une estimation de l'effet de la condition dual task sur cette dernière.

Il convient de rester prudent avec les résultats des deux études d'Olivier et al., le nombre de participants par groupe d'âges étant toujours assez faible ($N < 10$).

La 4^{ème} étude recensée est celle de Reilly et al. (2008). Ils ont analysé les effets d'un dual task sur des 13 enfants âgés de 4 à 12 ans et six adultes (âge moyen = 21.5). Ils ont divisé les enfants en deux groupes : les jeunes enfants âgés de 4 à 6 ans et les vieux enfants âgés de 7 à 12 ans. A noter ici que la taille des groupes est très faible. De plus, la deuxième tranche d'âge me semble particulièrement large. En effet, sachant que le développement du contrôle postural et des ressources attentionnelles est très variable durant l'enfance, regrouper des enfants de 7 à 12 ans dans un même groupe ne me paraît pas adéquat.

Deux tâches motrices différentes ont été utilisées dans ces études. La première est une position debout normale, pieds à largeur d'épaule et la deuxième est une position de semi-tandem. La tâche cognitive était une tâche de mémorisation visuelle.

La particularité de cette étude se trouve dans la fixation de la difficulté de la tâche cognitive en fonction du groupe d'âge. En effet, pour permettre de mieux évaluer l'effet de la réalisation d'une dual task, et ceci sans que le niveau de capacité de traitement ne joue un rôle, les chercheurs ont mis au point un système pour adapter le niveau de la tâche cognitive à chaque groupe. Ceci permet que la « charge de travail » soit la même pour chaque tranche d'âge. Cette démarche est très intéressante pour la comparaison de la gestion des situations de dual task en fonction de l'âge. Dans les autres études, les différences de ressources attentionnelles que nécessite un test pour un adulte ou un enfant influence les résultats en condition dual task sans que cela donne de réelles indication sur les différences de manières de gérer une telle situation en fonction de l'âge.

Les résultats ont montré des différences relatives à l'âge pour la condition de dual task uniquement entre les adultes et les plus jeunes enfants. En effet, l'addition de la tâche cognitive n'a créé d'interférences que pour le groupe des enfants de 4 à 6 ans. Les vieux enfants et les adultes n'ont pas montré d'interférence en condition de dual task par rapport à la condition single task.

Encore une fois, la mesure de la performance en condition single task pour la tâche secondaire aurait permis d'apporter des réponses supplémentaires.

La dernière de 5 études est l'étude de Schaefer et al. (2008). Dans cette étude, les chercheurs ont testé la différence de performance en dual task entre des enfants de 9 ans, des enfants de 11 ans et des adultes. Le nombre de sujet par groupe était à nouveau assez limité ($N < 10$), obligeant à une certaine prudence à la lecture des résultats.

Les tâches utilisées sont complètement différentes des 4 études précédentes. La tâche posturale est une position debout sur un disque d'équilibre posé soit sur une plateforme stable, soit sur une plateforme mobile. Deux tâches cognitives ont été utilisé : premièrement une tâche de mémorisation de mot appelé « method of loci » et la seconde une tâche de mémoire à court terme appelé « N-back working memory task ».

Le résultat le plus important de cette étude est le compromis marqué que font les enfants dans les coûts liés à la situation du dual task. En effet, des coûts beaucoup plus importants sont observés dans le domaine cognitif que dans le domaine postural chez les enfants. En fait, les enfants améliorent leurs performances posturales en situation de dual task, alors qu'ils réduisent significativement leurs performances aux tests de mémoire. Et au contraire, les performances des adultes, en situation de double tâche, diminuent pour les deux tâches.

Le survol de ces études permet de se rendre compte que la comparaison entre les performances des enfants et des adultes n'est pas très claire. De plus, sur 5 études analysées, 4 d'entre elles ne comportaient pas de mesure de la performance single task pour la tâche secondaire. Étant donné qu'il est très difficile d'interpréter les effets d'une dual task sur la task primaire sans connaître les résultats de la tâche secondaire, ce manque est très regrettable. Une autre limitation est le fait que dans 4 études sur 5, la taille des groupes était trop petite. En effet, dans ces 4 études le nombre de participants par groupe d'âge était plus petit que 10.

Malgré tout, une tendance se dégage sur les meilleures performances des jeunes adultes par rapport aux enfants. Sans pouvoir l'affirmer avec certitude, il semblerait que les performances en dual task en long de la vie suivent une courbe en U, avec les meilleures performances obtenues chez les adultes.

1.2.6 Entraînement de la dual task

Beaucoup d'informations de ce chapitre sont tirées d'une étude de Pellechia (2005) sur la façon d'entraîner une dual task de manière optimale.

Nous savons qu'il y a des situations de dual task dans la vie de tous les jours et par conséquent, il devrait y avoir des procédures qui améliorent les performances en dual task incorporées dans tous les programmes de prévention des chutes.

La question de ce travail est de savoir si, chez des adolescents, l'entraînement de la tâche motrice permet d'améliorer leur performance en dual task. La question de la stratégie d'entraînement de la dual task a déjà été étudiée chez des adultes

(Pellechia, 2005). Il n'existe à ma connaissance aucune étude se penchant sur l'effet d'un entraînement de la dual task chez les enfants et les adolescents.

Nous avons vu auparavant deux approches théoriques distinctes, qui mènent vers deux approches de l'entraînement de la dual task différentes.

La première, la théorie de l'attention de capacité limitée, suggère que les besoins attentionnels nécessaires lors d'une dual task sont la somme des besoins des deux tâches réalisées. Si on part de cette perspective, les interférences dues à la dual task devraient diminuer avec l'entraînement d'une seule des deux tâches (Pellecchia, 2005), comme cela a été réalisé pour ce travail. En effet, si on s'appuie sur cette théorie, l'entraînement rendrait une tâche plus automatique. Avec plus d'automatisme, les ressources attentionnelles nécessaires diminueraient et cela laisserait plus de ressources à la seconde tâche.

La deuxième, la théorie « action-selection » suggère que les deux tâches d'une dual task ne sont pas deux actions indépendantes. Elles seraient intégrées simultanément et leur pratique simultanée permettrait d'acquérir une meilleure coordination. En partant de cette théorie, un entraînement visant à améliorer les performances en dual task devrait inclure une pratique en dual task. Contrairement à la théorie de l'attention de capacité limitée, un entraînement single task est jugé suboptimal du point de vue de cette dernière théorie.

En résumé, la théorie de l'attention de capacité limitée prédit qu'un entraînement single task permettrait d'améliorer les performances en dual task alors que la théorie d' « action-selection » prédit que seul un entraînement dual task permet une amélioration des performances dual task.

Dans son étude, Pellechia (2005) s'est intéressé à la manière d'éliminer l'influence que peut avoir la réalisation d'une tâche cognitive sur le contrôle posturale, chez des adultes (18 à 46 ans). Pour répondre à cette question, elle a imaginé une expérience dans laquelle elle a comparé l'évolution des performances en dual task des trois groupes. Le premier groupe, le groupe contrôle, ne suivait aucun entraînement. Le deuxième groupe suivait un entraînement single task, dont les participants entraînaient les deux tâches, posturale et cognitive, séparément. Et le troisième groupe

suivait un entraînement dual task, l'entraînement comportant des exercices dual task.

Les résultats de cette étude vont clairement dans le sens de la théorie d' « action-selection ». En effet, le seul groupe dont les performances posturales n'ont pas baissé en situation de dual task est le groupe ayant suivi l'entraînement dual task. Pour les deux autres groupes, les oscillations posturales étaient plus grandes en situation de dual task qu'en situation single task.

Dans le cadre de mon travail, les entraînements n'auront porté que sur la tâche posturale.

2 Méthode

Pour évaluer l'effet de 5 semaines d'entraînement d'équilibre sur la performance en situation de dual task, nous avons mesuré les participants du groupe intervention (INT) et du groupe contrôle (CON) avant et après l'entraînement.

2.1 Participants

Tab. 1 : Données anthropométriques des participants : valeurs moyennes et écarts-types.

	INT (n=16)	CON (n=14)	Total (n=30)
Genre [f/h]	8/8	8/6	16/14
Age [années]	14.9 (0.6)	14.0 (0.4)	14.5 (0.7)
Poids [kg]	53.5 (11.7)	54 (6.7)	53.7 (9.5)
Taille [cm]	165 (12.9)	165 (8.9)	165 (11.1)
IMC [kg·m ⁻²]	19.5 (2.9)	19.6 (2.0)	19.5 (2.6)

30 volontaires de 10^{ème} et 11^{ème} années scolaires ont pris part à cette étude. Une classe (INT, 16 adolescents), suit un entraînement d'équilibre et une autre classe sert de groupe contrôle (CON, 14 adolescents, Tableau 1). Les participants venant de deux écoles différentes, ils n'ont pas été distribués aléatoirement dans les deux groupes. Ceci évite également un effet de transfert entre les deux groupes au travers de récits d'entraînements ou de ressentis.

Les participants du groupe CON ont continué de suivre leurs leçons d'éducation physique de manière tout à fait normale. Les participants n'étaient pas familiers avec l'entraînement spécifique de l'équilibre et ne présentaient aucun problème physique empêchant la participation à l'étude.

Après avoir présenté de manière détaillée mon projet aux parents des participants par le biais d'une lettre, j'ai obtenu l'autorisation de participation signée des parents (Annexe 1). Les directeurs des écoles concernées, ainsi que les directions d'instruction publique ont également donné leur accord quant au déroulement de mon travail (Annexes 2 et 3).

2.2 Entraînement

La période d'entraînement a duré 5 semaines et comportait 2 entraînements par semaine. Un total de 9 entraînements a été effectué, un devant être supprimé en raison d'un jour férié. Chaque entraînement durait environ 30 minutes. Les

entraînements se déroulaient durant les leçons d'éducatives physiques obligatoires dans la halle de gymnastique de l'école. L'entraînement portait donc uniquement sur la tâche motrice, le contrôle postural.



Fig. 5 : Exercices d'équilibre sur un banc suspendu en instabilité

La réflexion sur la façon de donner les entraînements a été longue. Certes, les participants étaient volontaires, mais restaient des adolescents comme les autres. Pour espérer obtenir un rendement d'entraînement optimal de leur part, il fallait que

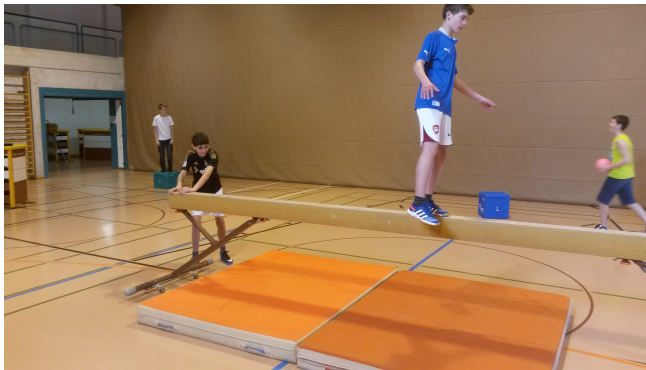


Fig. 6 : Exercice d'équilibre. Un adolescent soumet son camarade à des perturbations

l'entraînement soit varié, ludique. Il fallait également qu'il soit progressif, pour que les adolescents ne soient pas découragés au début, mais qu'ils ne s'ennuient pas non plus par la suite. Il a fallu également tenir compte du matériel à disposition. J'avais à disposition quelques appareils spécialisés dans l'entraînement d'équilibre, à savoir

des coussins d'air, des disques d'équilibre, des planches d'équilibre (rolla bolla) ou encore des planchettes d'équilibre dédiées au travail de la stabilité de la cheville. Mais j'avais également l'ensemble du matériel de la salle de sport. J'ai donc pu utiliser des bancs suédois, des poutres, des barres parallèles, des gros mousses, des cubes en mousse, des barres fixes ou encore des anneaux balançants. L'ensemble de ce matériel utilisé de manière adéquate m'a permis d'imaginer de nombreux exercices. Il a été possible, par exemple, de suspendre un banc suédois entre des barres parallèles (Figure 5), ou encore d'utiliser une poutre maintenue sur des roulettes pour soumettre un adolescent à des perturbations (Figure 6).

Pour que les adolescents puissent se rendre compte de leur progression et ainsi conserver leur motivation intacte, certains exercices standard tels que le rolla bolla

ont été repris de façon régulière au fil des entraînements. Les adolescents pouvaient ainsi se fixer des défis pour battre leur record ou faire mieux que leurs camarades.

Pour obtenir un temps de travail effectif maximum, le même système de postes a été utilisé durant l'ensemble de l'entraînement. En effet, j'ai très vite remarqué qu'il était plus judicieux de faire travailler les participants par périodes de 3-4 minutes par postes et de les faire tourner de poste en poste. Les adolescents travaillaient ainsi de manière intensive sans se lasser de l'exercice. La plupart du temps, les élèves se trouvaient par deux aux différents postes. Cela permettait de varier les exercices, en incluant un échange de balle par exemple, et cela contribuait également à les maintenir motivés.

Les participants recevaient régulièrement des feedbacks sur la réalisation des exercices (fixe ton regard sur un point fixe, plie les jambes, ...etc.) et ils étaient également régulièrement chronométrés sur certains exercices (ex. rolla bolla ou disque d'équilibre, tenir le plus longtemps possible sans toucher le sol).

L'ensemble des entraînements détaillés se trouve à l'annexe 4.

2.3 Mesures conduites lors des pre- et post-tests

Pour évaluer les performances en single et en dual task, 4 tests différents ont été réalisés. Pour éviter un effet de surprise et de découverte, les participants ont eu la possibilité de venir visiter les locaux dans lesquels les mesures seraient conduites et d'essayer brièvement les différents tests. Chaque participant avait ainsi la possibilité de s'accommoder aux différents tests. Les tests se déroulaient dans deux salles différentes. Dans un laboratoire, se trouvait un Posturomed™ et une installation pour le Stroop test (Figure 7, cas 1 et 2), et dans un autre, une plateforme de force et une deuxième installation pour le Stroop test (cas 3 et 4). Les participants se présentaient généralement par deux dans chaque laboratoire. Les conditions de tests furent sensiblement les mêmes pour l'ensemble des tests, mis à part pour les mesures pré du groupe contrôle. En effet, durant les mesures pré du groupe intervention, l'ensemble des mesures se sont déroulées dans un seul et même laboratoire, l'ordre des mesures ne changeant pas, mais les adolescents se retrouvant à quatre dans le laboratoire, au lieu de deux.

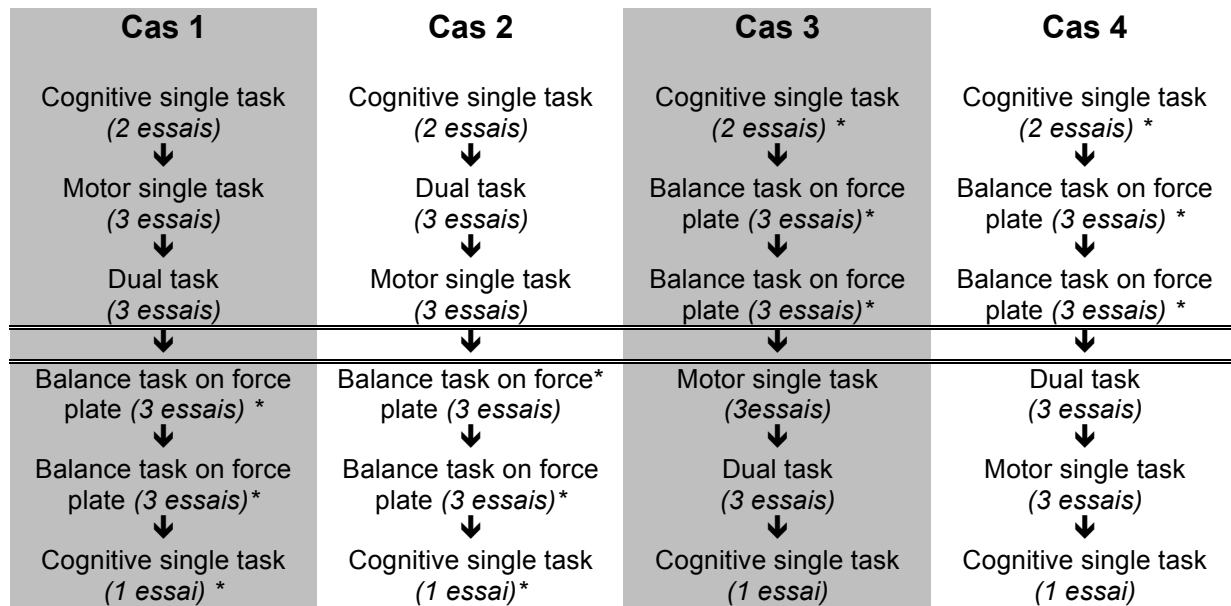


Fig. 7 : Déroulement des mesures (Sans * : laboratoire 1, Avec * : laboratoire 2)

2.3.1 Appareils de mesure

2.3.1.1 Installation pour l'évaluation des performances cognitives

Pour la mesure de la performance des tâches cognitives, que cela soit en condition single ou dual, un diaporama de tests stroop préparé passait sur un écran d'ordinateur placé à environ deux mètres devant le

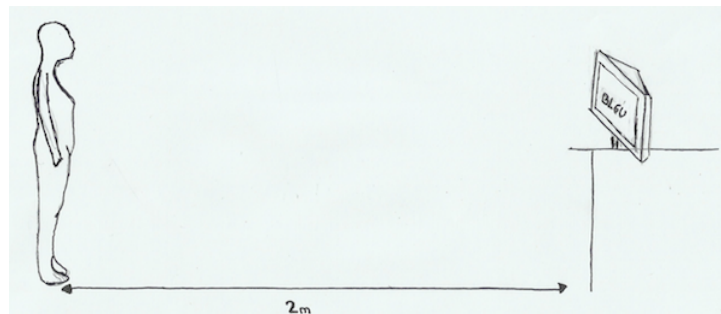


Fig. 8 : Disposition du Stroop test

participant (Figure 8). Le diaporama composé de plus de cents slides permettait d'être assuré que les participants n'auraient aucune possibilité de retenir des séquences par cœur.

2.3.1.2 Posturomed™

Un appareil d'équilibre nommé Posturomed™ (Haider Bioswing, Pullenreuth, Allemagne) a été utilisé (Figure 9). La plateforme qui oscille librement de manière multiaxiale est montée sur 4 balanciers qui lui



Fig. 9 : Posturomed (www.bioswing.de)

garantissent des mouvements libres dans toutes les directions du plan transversal (Keller et al., 2014). Un potentiomètre était branché à la plateforme pour évaluer la distance de balancement dans les directions antéro-postérieures et médio-latérales. Le même dispositif de mesure a été utilisé dans différentes études (Taube et al., 2010 ; Keller et al., 2014). Cet appareil a été utilisé pour la mesure des performances posturales, quelles soient en conditions single ou dual task.

2.3.1.3 Plateforme de force

Une plateforme de force a été utilisée pour évaluer les tâches d'équilibre. Ces plateformes de force permettent de délivrer les 3 composantes de la force F_x , F_y et F_z et de retranscrire de manière très précises les oscillations du corps.

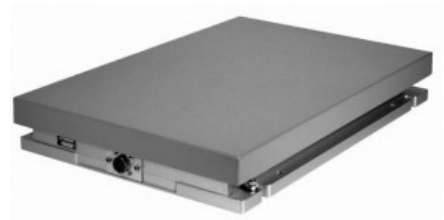


Fig. 10 : Plateforme de force AMTI
(www.biometrics.fr)

2.3.2 Procédure de mesures

Pour l'ensemble des mesures, une feuille récapitulative des résultats avait été préparée. Une feuille par participant, regroupant l'ensemble des tests à effectuer (Annexe 5).

2.3.2.1 Cognitive single task

Pour la mesure des performances cognitive en condition single, les participants ont réalisé un test stroop dans les conditions décrites à la Figure 8. Les participants se trouvaient en position debout à 2m d'un écran d'ordinateur sur lequel défilaient les slides du test stroop. Chaque participant avait 3 essais de 30 secondes chacun. Les deux premiers essais étaient effectués au tout début des mesures, et le troisième à la toute fin. Les participants ont reçu l'instruction de donner le plus de réponses possible durant les 30 secondes et que seule la première réponse était prise en compte. Une feuille de contrôle des réponses avait été préparée pour faciliter les choses (Annexe 6).

2.3.2.2 Motor single task

Pour la mesure des performances posturales en condition single, le PosturomedTM décrit précédemment a été utilisé. La position sur la plateforme était une position de tandem, c'est-à-dire avec un pied l'un devant l'autre sur une même ligne. Les mains devaient se trouver impérativement sur les hanches et ne devaient jamais les quitter durant la durée du test. Les adolescents ont tous reçu l'instruction de se placer au

centre de la plateforme, la pointe d'un pied touchant le talon de l'autre, et de rester le plus stable possible. Pour la condition « motor single task », 3 essais, les participants réalisaient, en même temps que la tâche motrice, une tâche de lecture. En effet, pour que les participants parlent régulièrement, il leur était demandé de lire des couleurs, écrites dans la couleur correspondante (rouge écrit en rouge, par exemple). Les couleurs défilaient sur un ordinateur placé 2m devant la plateforme d'équilibre. Pour cette condition, les participants ont reçu l'instruction de parler de manière régulière et de minimiser au maximum les mouvements de la plateforme. Ils ont été informés que la vitesse de lecture ne serait pas prise en compte, que seules les oscillations de la plateforme seraient mesurées.

2.3.2.3 Dual task

Pour la condition « dual task », en plus de la tâche posturale de tandem sur le Posturomed™, les participants effectuaient un test stroop simultanément. Comme pour la condition « motor single task », les couleurs défilaient sur un ordinateur placé 2m devant la plateforme. Les participants ont reçu les mêmes instructions que pour les deux tâches séparées, et ont été informés que le nombre de bonnes réponses ainsi que les oscillations de la plateforme seraient mesurées.

2.3.2.4 Tâches posturales sur la plateforme de force

Sur la plateforme de force, les adolescents ont réalisé deux tâches d'équilibre différentes, chacune effectuée à trois reprises pendant 30 secondes. La première tâche était de rester en équilibre sur un pied (le pied droit pour tout le monde), les mains sur les hanches et de rester le plus stable possible. La deuxième tâche était de rester le plus stable possible en équilibre, sur les deux pieds, sur un disque d'équilibre. Le disque d'équilibre choisi était assez stable, de manière à ce que tout le monde soit capable de se maintenir en équilibre durant la durée du test.

2.3.3 Traitement des données et analyses statistiques

Pour faire un premier tri dans l'ensemble des données, la meilleure performance des 3 essais de chaque test a été sélectionnée. Pour l'analyse statistique des résultats, une analyse de variance à deux facteurs avec mesures répétées sur un facteur (groupe) a été réalisée.

3 Résultats

3.1 Tâche posturale seule

L'analyse statistique de la condition « motor single task » a montré des résultats significatifs pour l'interaction TIME x GROUP ($F_{1;26} = 6.032$; $p < 0.05$) et la variable TIME ($F_{1;26} = 4.916$; $p < 0.05$), mais pas pour la variable GROUP ($F_{1;26} = 0.725$; $p > 0.05$). Une analyse Post-Hoc avec un t-test a montré des progrès hautement significatifs du groupe INT ($p < 0.01$). Le groupe intervention montre une forte progression (moins de mouvement de la plateforme), alors que les performances du groupe contrôle stagnent, voir diminuent.

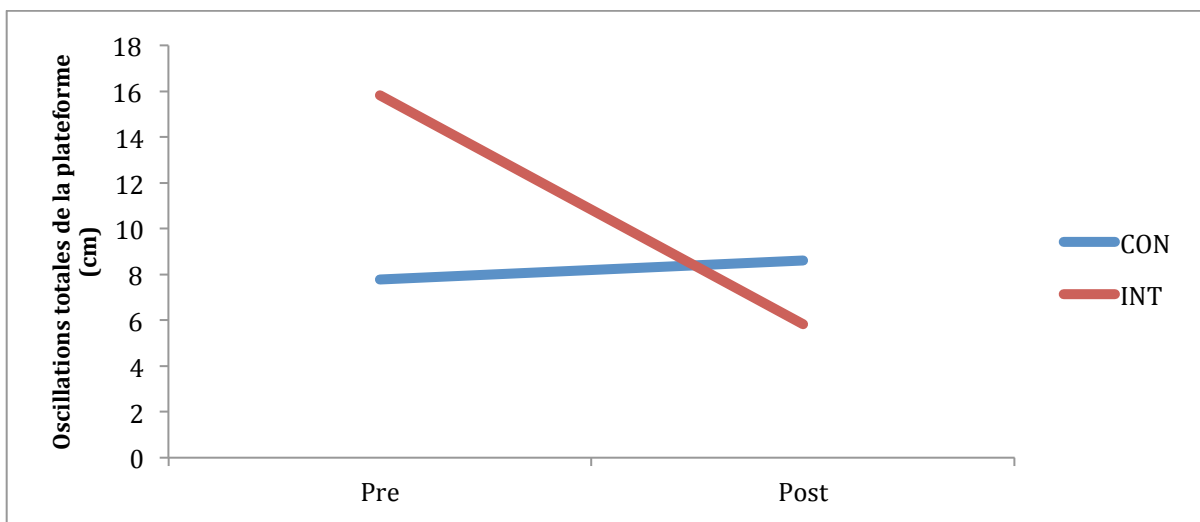


Fig. 11 : Motor single task

3.2 Tâche cognitive seule

L'analyse statistique de la condition « cognitive single task » a montré des résultats hautement significatifs pour la variable TIME ($F_{1;26} = 20.408$; $p < 0.01$), mais pas pour la variable GROUP ($F_{1;26} = 0.021$; $P > 0.05$), ni pour l'interaction TIME x GROUP ($F_{1;26} = 1.489$; $p > 0.05$). Une analyse Post-Hoc avec un t-test a montré des progrès hautement significatifs du groupe INT ($p < 0.01$).

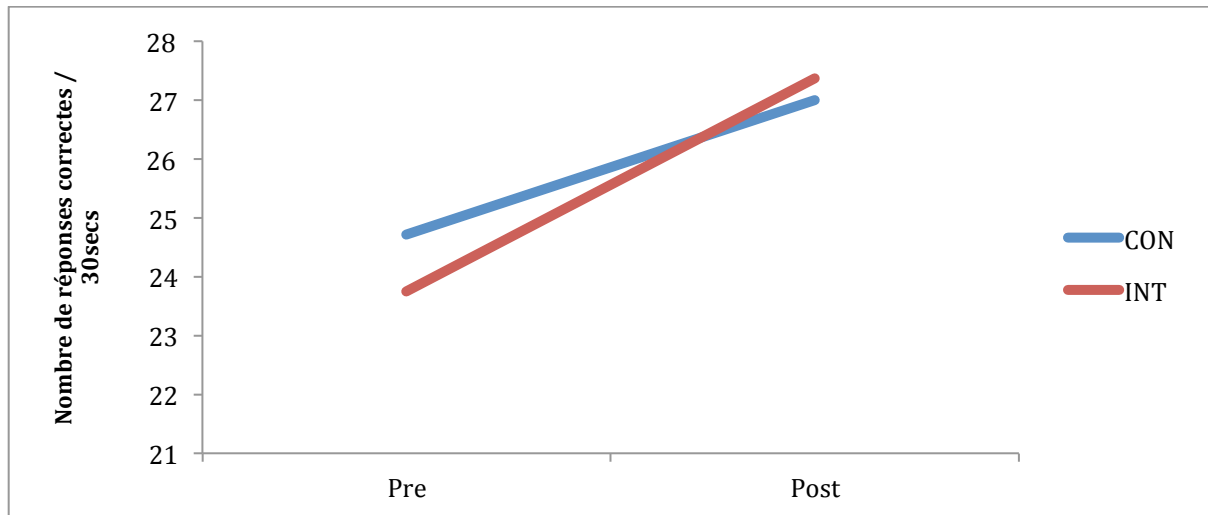


Fig. 12 : Cognitiv single task

3.3 Tâche motrice en condition double tâche

Aucun effet significatif n'a été constaté pour la tâche posturale réalisée en condition de double tâche. Le groupe intervention a progressé, sans que ses performances effectives ne deviennent meilleures que celles du groupe contrôle. Une analyse statistique réalisée par un t-test a montré une différence significative entre les deux groupes au moment du pré-test ($p < 0.05$). En effet, les performances du groupe contrôle étaient nettement meilleures lors du pré-test.

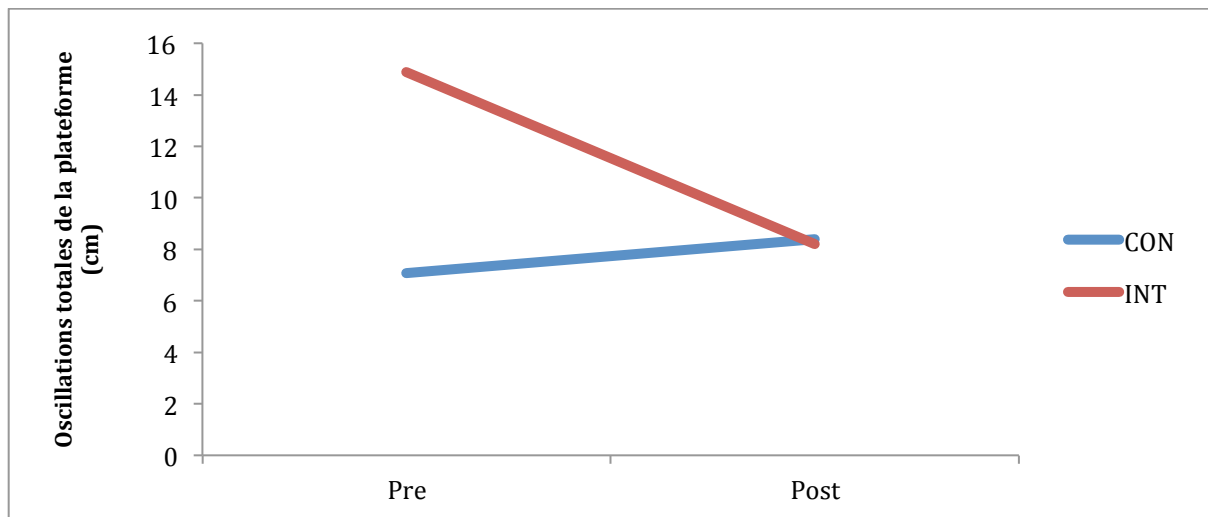


Fig. 13 : Dual motor task

3.4 Tâche cognitive en condition double tâche

Comme pour la condition « cognitive single task », des résultats hautement significatifs ont été constatés pour la variable TIME ($F_{1;26} = 24.052$; $p < 0.01$), mais pas pour la variable GROUP ($F_{1;26} = 0.490$; $p > 0.05$), ni pour l'interaction entre les

deux ($F_{1;26} = 0.470$; $p > 0.05$). Une analyse statistique Post-Hoc avec un t-test a montré des progrès hautement significatifs pour le groupe intervention ($p < 0.01$) et des progrès significatifs pour le groupe contrôle ($p < 0.05$).

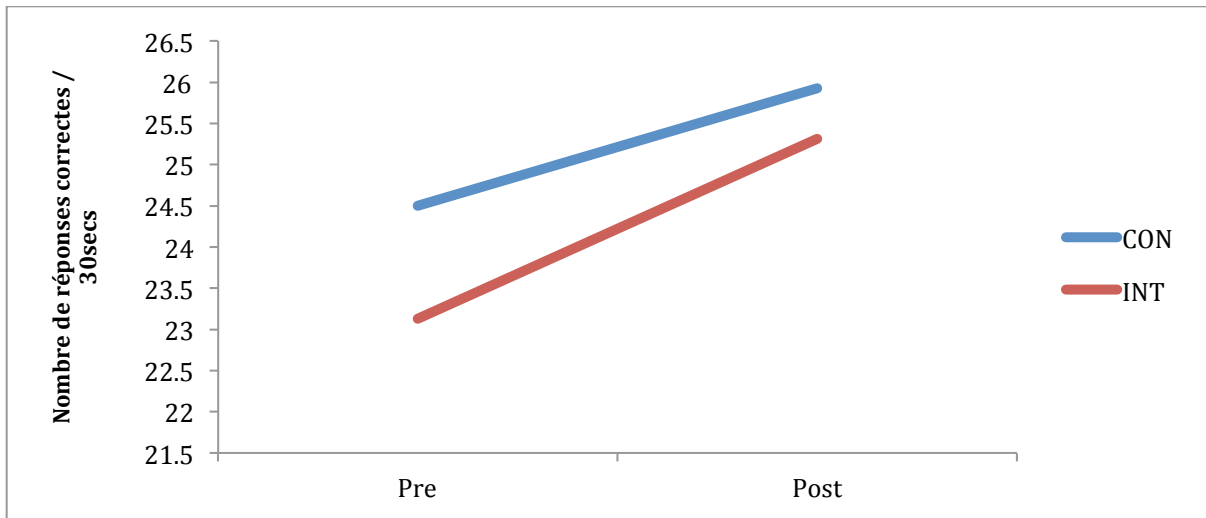


Fig. 14 : Cognitive dual task

3.5 Position debout sur une jambe

Pour la condition « single leg stance », l'analyse statistique montre des résultats significatifs pour l'interaction TIME x GROUP ($F_{1;26} = 9.665$; $p = 0.05$), mais pas pour les variables TIME ($F_{1;26} = 0.086$; $p > 0.05$) et GROUP ($F_{1;26} = 6.508$; $p > 0.05$). Une analyse Post-Hoc avec un t-test montre une progression significative ($p < 0.05$) du groupe intervention et une différence significative ($p < 0.05$) entre les groupes lors du post-test.

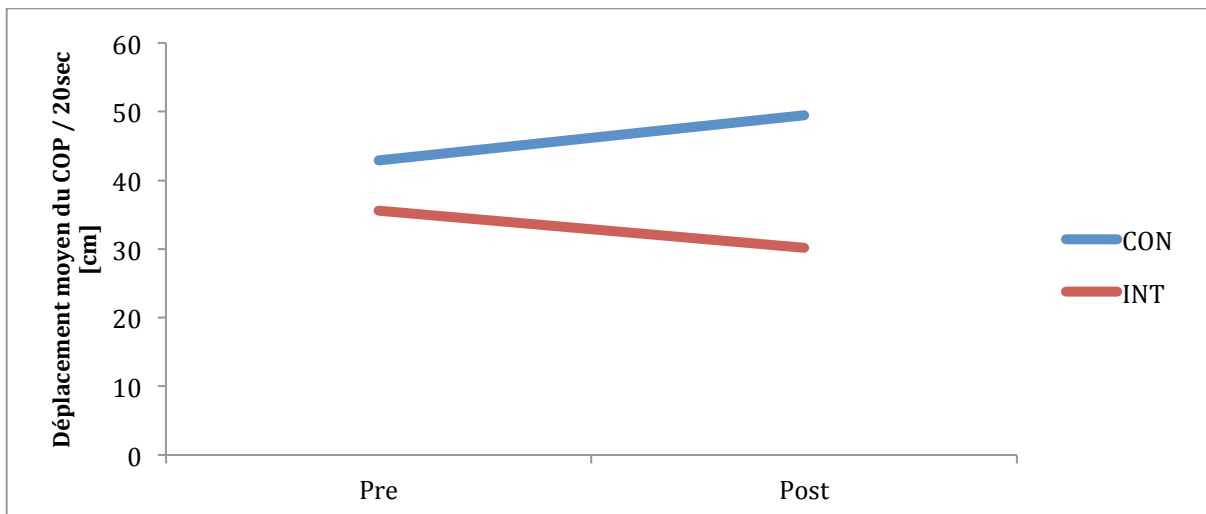


Fig. 15 : Single leg stance task

3.6 Disque d'équilibre

Pour la condition « circle board stance task », l'analyse statistique montre des résultats hautement significatifs pour la variable GROUP ($F_{1;26} = 8.510$; $p < 0.01$), mais aucun résultat significatif pour la variable TIME ($F_{1;26} = 1.515$; $p > 0.05$), ni pour l'interaction entre les deux variables ($F_{1;26} = 0.012$; $p > 0.05$). Une analyse Post-Hoc avec un t-test montre une différence significative entre les groupes lors du pré-test ($p < 0.05$) et lors du post-test ($p < 0.05$). En effet, les performances du groupe intervention sont meilleures (moins de déplacements du COP), que cela soit lors du pré-test ou du post-test.

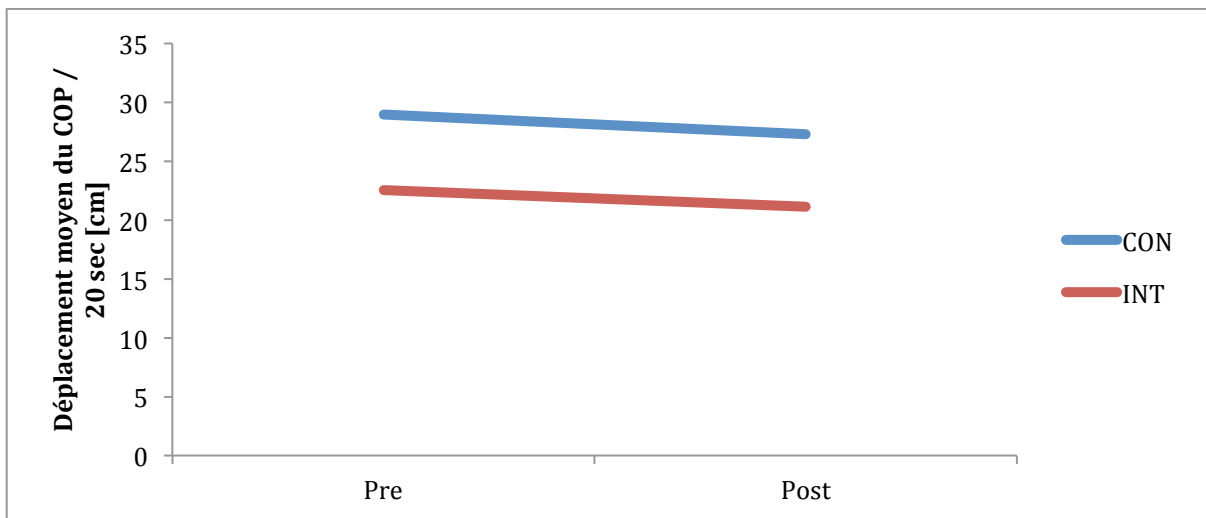


Fig. 16 : Circle board stance task

3.7 Différence entre la « motor single task » et la « motor dual task »

Les analyses statistiques n'ont montré aucun résultat significatif entre la réalisation de la tâche posturale « seule » ou en condition de double tâche.

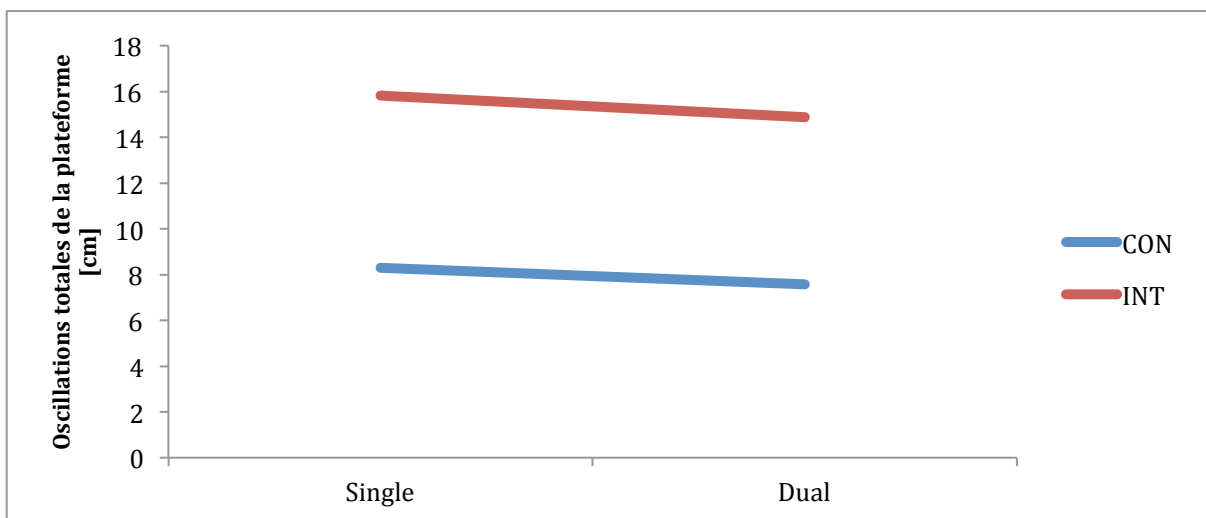


Fig. 17 : Comparaison des performances, lors du pré-test, entre la tâche posturale en condition single et dual

Sur le premier graphique ci-dessus (Fig.17), nous voyons la comparaison single – dual lors du pré-test et sur le graphique ci-dessous (Fig.18), la même comparaison pour le post-test.

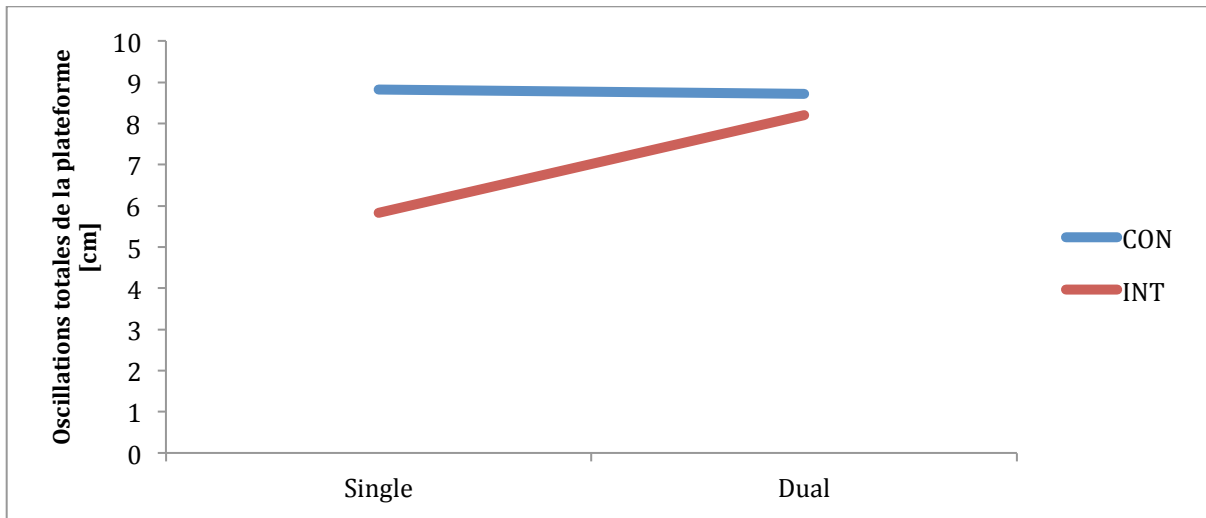


Fig. 17 : Comparaison des performances, lors du post-test, entre la tâche posturale en condition single et dual

3.8 Différence entre la « cognitive single task » et la « cognitive dual task »

Les analyses statistiques n'ont montré aucun résultat significatif entre la réalisation de la tâche cognitive « seule » ou en situation de double tâche.

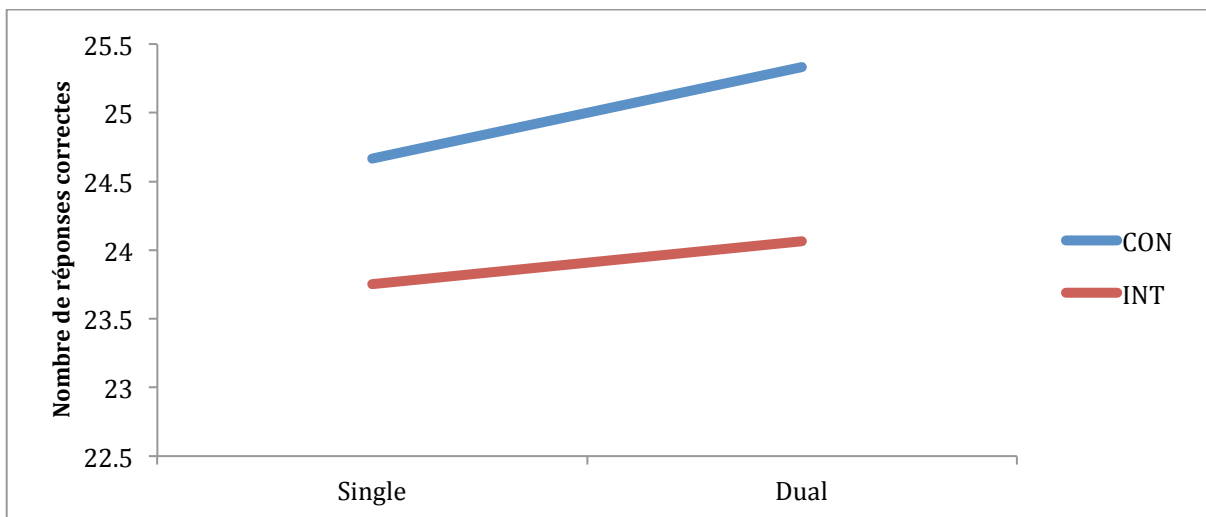


Fig. 18 : Comparaison des performances, lors du pré-test, entre la tâche cognitive en condition single et dual

Sur le premier graphique ci-dessus (Fig.19), nous voyons la comparaison single – dual lors du pré-test et sur le graphique ci-dessous (Fig.20), la même comparaison pour le post-test.

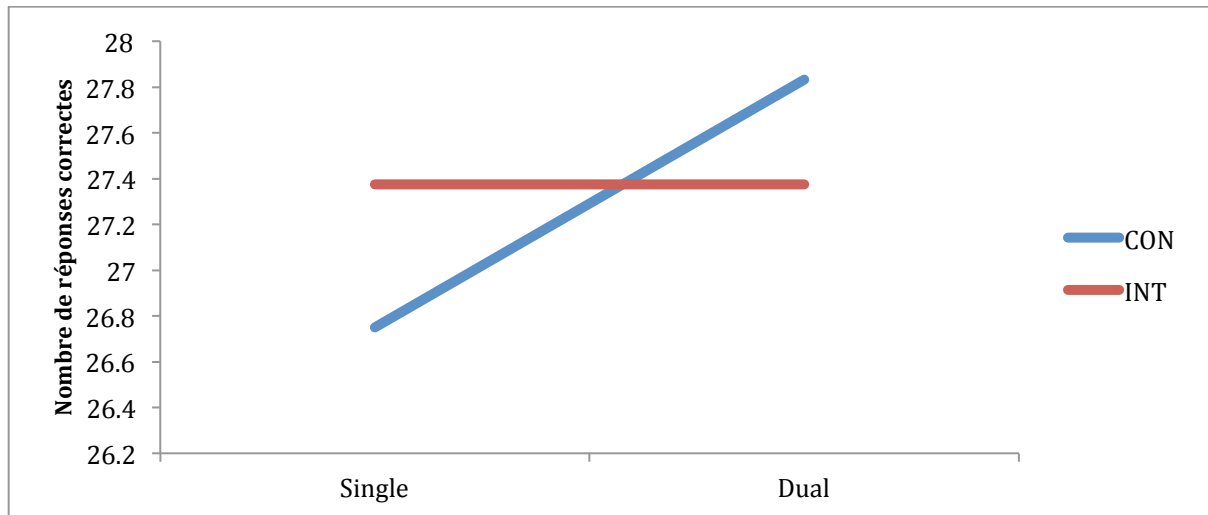


Fig. 19 : Comparaison des performances, lors du post-test, entre la tâche cognitive en condition single et dual

4 Discussion

Le but de ce travail était donc de déterminer si, chez des adolescents, un entraînement de l'équilibre pouvait influencer les performances en situation de double tâche. Pour commencer, nous allons voir comment les adolescents ont réagi au test en situation de single task ou en situation de dual task. Une approche nouvelle a été utilisée. En effet, jamais une étude menée chez des adolescents n'avait utilisé un entraînement uniquement moteur pour améliorer les performances en dual task. Les études chez les adolescents étant déjà rares, cette particularité de la procédure d'entraînement donne à cette étude un caractère très novateur.

Motor single task

Nous allons d'abord analyser les performances lors de la motor single task. Les résultats montrent de bien meilleures performances pour le groupe contrôle. Cette différence n'est pas aisée à expliquer. En effet, dans un premier temps, la première raison qui nous vient à l'idée est une simple différence de capacité d'équilibre entre les deux groupes. Mais si nous intéressons un peu de plus près aux résultats des tests d'équilibre, nous voyons que les performances du groupe intervention sont tout aussi bonnes que celles du groupe contrôle. Nous ne pouvons donc pas attribuer cette différence au niveau de contrôle postural des deux groupes. Qu'est-ce qui peut donc expliquer la grande différence de performances aux tests sur le PosturomedTM et non aux tests sur la plateforme de force. Une hypothèse est le fait qu'une

machine, le PosturomedTM, est un test dynamique, et que l'autre, la plateforme de force, est un test statique.

Mais l'hypothèse la plus probable pour expliquer cette grande différence entre les groupes pour la motor single task est lié aux conditions de tests. En effet, divers points ont variées entre les mesures pré du groupe contrôle et celles du groupe intervention. Premièrement la reconnaissance des tests s'est faite le même que les pré-test pour le groupe intervention, alors que le groupe contrôle était venu essayer les différents tests le jour avant les pré-tests. Les participants du groupe contrôle ont donc pu mieux préparer le pré-test, notamment on discutant entre eux de stratégies à mettre en place pour mieux réussir (ex. fixer le centre de l'écran d'ordinateur). Deuxièmement, le nombre de personnes présentes dans la salle de mesures était différent. En effet, pour des raisons d'organisations, l'ensemble des mesures du pré-test du groupe intervention était concentré dans la même salle. Les élèves paissaient donc les tests par 4, et non par 2 comme c'était le cas pour le groupe contrôle. Ce plus grand nombre de personnes impliquait donc plus de bruit, plus de sources de distraction. Ce point pourrait se révéler particulièrement important. En effet, la tâche posturale choisie pour la condition motor single task étant assez simple, la réussite ou non du test en devenait plus cognitif, liée à la concentration. L'augmentation de bruit et des sources de distraction aurait donc eu une influence sur les performances de la motor single task.

Single task vs Dual task à l'adolescence

Comme nous avons pu le constater aux points 3.7 et 3.8, il n'y a aucun effet significatif entre la réalisation des tâches posturales et cognitives en condition de single ou de dual task. Et contrairement à ce à quoi on aurait pu s'attendre, la tendance est plutôt à de meilleures performances en condition de dual task, tant pour la tâche posturale que pour la tâche cognitive. Ces résultats s'opposent au modèle de Lacour (Lacour et al., 2008) « Cross-domain competition » qui suggérerait que le partage de l'attention dans les situations de dual task crée une compétition entre la tâche posturale et la seconde tâche, menant à une détérioration des performances dans l'une ou les deux tâches.

Nous avons vu dans le chapitre 1.2.3 que le niveau de la tâche cognitive avait une grande influence sur l'effet qu'elle aurait sur la tâche posturale, et qu'inversément, le

niveau de la tâche posturale avait également une influence sur la qualité de réalisation de la tâche cognitive. Les modèles de Lacour (Lacour et al., 2008) permettent d'expliquer ces différences. Le modèle U-shaped non linear interaction model suggère que la réalisation d'une seconde tâche peut aussi bien améliorer qu'altérer la stabilité posturale. Cela dépendrait d'un niveau de la tâche secondaire. En effet, si la seconde tâche demande peu de ressources attentionnelles, elle permettrait de détourner l'attention de la tâche posturale et d'ainsi favoriser son automatiser. On se détourne de la focalisation attentionnelle expliquée par Boisgontier et al. (2011). Palluel et al. (2010) ont montré que le test stroop, réalisé dans cette étude, était un test qui demandait peu de ressources attentionnelles. Dans l'étude de Palluel et son groupe, le test stroop n'avait également provoqué aucune interférence chez des adolescents. A l'inverse d'un test de comptage à rebours.

La difficulté assez faible du test cognitif peut donc être une hypothèse pour l'absence d'effets entre les conditions single et dual pour la tâche posturale et même expliquer la tendance, bien que non significative, à l'amélioration en condition dual task.

Nous avons pu constater une progression lors des tâches cognitives en condition dual et single task, et ceci autant pour le groupe contrôle que pour le groupe intervention. Ceci peut s'expliquer par le fait que la tâche cognitive était nouvelle pour les deux groupes lors du pré-test. Le fait d'avoir pu essayer le test à deux ou trois reprises avant le pré-test n'a pas permis d'acquérir la même aisance que lors du post-test. En effet, nous pouvons imaginer qu'un apprentissage de la tâche cognitive s'est fait au fil des tests et entre le pré- et le post-test. De plus, nous n'avons aucun contrôle sur un quelconque entraînement que les participants aurait pu faire chez eux. Nous avons également pu constater des échanges entre les participants sur la « tactique » à adopter pour de meilleures performances lors du stroop test. En effet, certains participants conseillaient de fixer le centre de l'écran pour rendre illisible les mots et ne laisser apparaître que les couleurs. Nous pouvons imaginer que la transmission de ces stratégies entre le pré et le post-test puisse expliquer en partie les progrès réalisés par les deux groupes.

Les choix de la tâche posturale avaient également une grande importance pour la pertinence de cette étude. Ce choix était compliqué, car le test devait être à la fois

réalisable et assez difficile pour mettre en évidence une possible situation d'interférence. La décision de prendre comme tâche posturale une position de semi-tandem sur un PosturomedTM a été préférée à une tâche d'équilibre sur un pied. En effet, le risque que trop de participants tombent en milieu de test et rendent ainsi les données inutilisables était trop grand en prenant la tâche d'équilibre sur un pied.

Nous avons très vite remarqué lors du déroulement des mesures que la tâche posturale choisie ne mettait pas beaucoup les participants en difficulté. Il ne permit en tout cas pas de mettre en évidence une quelconque différence entre la condition single et dual task. Le fait que la tâche posturale choisie ait été trop simple peut expliquer cette absence. En effet, le modèle de Lacour (Lacour et al., 2008) du « Cross-domain competition domain » suggère que l'attention est partagée entre la tâche posturale et la tâche secondaire. Dans cette étude, l'addition d'une tâche secondaire à la tâche posturale peut-être trop simple, et demandant donc peu de ressources attentionnelles, n'a donc pas provoquer d'interférences significatives.

Efficacité d'un entraînement d'équilibre sur la réalisation d'une dual task

L'entraînement, avec le groupe intervention, s'est très bien déroulé. L'entraînement varié et complet a permis de garder les adolescents motivés. La grande variété du matériel à disposition et la grande palette d'exercices réalisables avec ce matériel a permis de construire un entraînement attractif. Des encouragements et des feedbacks constructifs sur leur progression ont également contribué à la motivation du groupe. Il faut également signaler que les classes dans lesquelles les entraînements ont été donnés étaient de petites classes. Cela a permis d'avoir un meilleur contrôle et d'instaurer une ambiance d'entraînement plus sérieuse.

Le but premier d'un entraînement d'équilibre est bien sûr d'améliorer les capacités de contrôle postural. Ce premier but a été atteint. En effet, les résultats ont montré des progrès significatifs pour le groupe intervention pour la condition « motor single task » et pour la condition « single leg stance task ». Cela confirme les résultats d'études précédentes montrant que des adolescents âgés de 13 à 15 ans progressent à la suite d'un entraînement. Les résultats pour la tâche motrice en condition de double tâche ne montrent aucun effet significatif. Cependant, le groupe intervention montre une tendance à l'amélioration après la période d'entraînement.

Le seul test postural qui ne montre aucun effet significatif et quasi aucune tendance à l'amélioration est la tâche sur le disque d'équilibre. Ceci peut s'expliquer par la trop grande stabilité du disque choisi. En effet, les résultats étant déjà très bons lors de pré-test, il était difficile pour le groupe intervention d'améliorer leurs performances.

L'autre but voulu de cet entraînement d'équilibre était donc, par le biais de l'amélioration du contrôle postural, d'améliorer les performances des adolescents en condition de double tâche. Pellechia (2005) avait déjà étudié les stratégies d'entraînement de la dual task chez les adultes. Deux différentes théories vues dans le chapitre 1.2.6 suggéraient deux approches différentes de l'entraînement de la dual task.

Cette étude n'a pas montré de progrès significatifs dans les conditions de dual task pour le groupe intervention à la suite de l'entraînement. Ces résultats vont dans le sens de la théorie « d'action-selection » qui prédisait qu'un entraînement d'équilibre seul ne permettrait pas d'obtenir une progression optimale en condition de dual task. En effet, les deux tâches d'une dual task ne seraient pas deux actions indépendantes. Leurs pratiques simultanées seraient nécessaires pour acquérir une meilleure coordination.

Sans comparaison avec un entraînement de la dual task, il est cependant difficile de juger de l'efficacité de cet entraînement.

Limites de l'étude

Quelques erreurs ont été commises dans le déroulement de cette étude. Le choix de la tâche posturale, la position de semi-tandem, n'était peut-être pas le bon. En effet, cette tâche était trop simple et n'a pas permis de montrer de différences entre la condition single et dual task. Le choix d'une tâche posturale plus complexe aurait peut-être permis de créer plus d'interférences en condition dual task.

Il est difficile de choisir une tâche posturale réalisable par l'ensemble d'un groupe d'adolescents aux habilités sportives assez hétérogènes, mais qui ne soit pas trop facile.

De plus, des erreurs de protocoles ont été faites. La variation des conditions de tests entre le groupe contrôle et le groupe intervention lors du pré-test a pu influencer les résultats.

Perspectives

Le caractère novateur de cette étude a permis d'apporter de nouvelles réponses sur le thème de la dual task chez les adolescents. En effet, il a pu être démontré qu'un entraînement d'équilibre ne permettait pas d'obtenir d'effets significatifs sur les performances en dual task. Pour apporter davantage de réponses à ce sujet, il serait intéressant de comparer ces résultats à des recherches étudiant les effets d'un entraînement de la tâche cognitive uniquement et à une autre étudiant les effets d'un entraînement dual task.

Si les résultats montraient des progrès significatifs en condition de dual task uniquement après l'entraînement dual task, cela permettrait de confirmer la théorie « action – selection ».

Etant donné la fréquence importante à laquelle nous rencontrons des situations de double tâche dans notre vie quotidienne et dans notre vie de sportif, il est très intéressant de développer les connaissances qui y sont relatives. La comparaison avec de futures études utilisant d'autres procédures d'entraînement permettra de s'approcher de la méthode d'entraînement la plus appropriée.

5 Conclusion

Cette étude était menée dans le but d'apporter des nouvelles réponses à la thématique de la dual task et à la façon de l'entraîner chez les adolescents. Etant donné le peu d'études abordant le thème de l'entraînement de la dual task, nous partions quelque peu dans l'inconnu. Mais le design d'expérience novateur a permis de répondre à certaines questions.

Les résultats ont montré qu'un entraînement single task ne permettait pas d'obtenir de progrès significatifs en condition dual task. Sur ce point-là, notre étude est en accord avec celle de Pellechia (2005). Nous nous attendions donc à de tels résultats.

Par contre, ce travail a permis de confirmer ce que disaient d'autres études, le contrôle postural des adolescents s'améliore après un entraînement d'équilibre.

La variété des théories sur l'attention, sur les ressources attentionnelles, sur l'allocation des ressources attentionnelles est encore très vaste. Différentes théories se contredisent et c'est très difficile de se faire un avis définitif. La thématique de la dual task et de la gestion attentionnelle de la dual task n'est donc de loin pas encore expliquée. Notre étude a cependant permis de clarifier les choses quelques peu. Les résultats de cette étude s'opposent très clairement à la théorie de l'attention de capacité limitée. Nous avons pu montrer par nos résultats que les besoins attentionnels nécessaires lors d'une dual task ne se limite pas à la somme des besoins des deux tâches réalisés. Nous avons montré qu'il existe un lien entre les deux tâches réalisées, un lien qui nécessite d'être entraîné pour améliorer les performances en dual task.

Le thème de la dual task est un thème particulièrement important pour un sportif et notamment pour un enseignant de sport. En effet, la connaissance du développement des ressources attentionnelles au cours de l'enfance et de l'adolescence permet aux enseignants d'adapter leur manière de faire. Nous savons par exemple que de parler à un enfant de 10 ans pendant qu'il réalise un exercice à la poutre le perturbe énormément. Développer les connaissances sur le sujet de la dual task chez les adolescents permettra donc de développer les méthodes d'enseignement.

Ce travail a permis également de montrer qu'un entraînement d'équilibre pouvait être conduit de façon ludique et avec peu de matériel spécifique. En effet, un local matériel de salle de gymnastique regorge de toutes sortes d'engins qu'il est possible d'utiliser pour créer des exercices variés et efficaces.

6 Références

Bernier, M., Thienot, E. & Codron, R. (2009). Attention et performance sportive : état de la question en psychologie du sport appliquée. *Revue STAPS*, 30, 25-42.

Bronstein A.M. (2012). Conférence plénière(1) : dépendance visuelle et contrôle visuel de l'équilibration. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 56, 104.

Boisgontier, M., Mignardot, J.-B., Nougier, V., Olivier, I. & Palluel, E. (2011). Attentional cost of the executive functions involved in postural control. *Science & motricité*, 74, pp.53-64. doi :10.1051/sm/2011106.

Cullen, K.E. (2012). The vestibular system : multimodal integration and encoding of self-motion for motor control. *Trends Neurosci.* 35(3), 185-196.

Donath, L., Roth, R., Rueegge, A., Groppa, M., Zahner, L. & Faude, O. (2013). Effects of slackline training on balance, jump, performance & muscle activity in young children. *Sports Med*, 34, 1093-1098.

Eklund, G. (1972). General features of vibration-induced effects on balance. *Uppsala J med Sci*, 77, 112-124.

Granacher, U., Gollhofer, A. & Kriemler, S. (2010). Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Research quarterly for exercise and sport*, 81, 245-251.

Granacher, U., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., Kressig, RW. & Zahner, L. (2011a). An intergenerational approach in the promotion of balance and strength for fall prevention – A mini-review. *Gerontology*, 57, 304-315.

Granacher, U., Muehlbauer, T., Maestrini, L., Zahner, Z. & Gollhofer, A. (2011b). Can balance training promote balance and strength in prepubertal children ? *J Strength Cond Res*, 25, 1759-1766.

Gruber, M., Gruber, S., Taube, W., Schubert, M., Beck, S. & Gollhofer, A. (2007). Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. *J Strength cond res*, 21, 274-282.

Keller, M., Pfusterschmied, J., Buchecker, M., Müller, E., & Taube, W. (2012). Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes. *Scand J Med Sci Sports*, 22(4), 471-477.

Keller, M., Röttiger, K. & Taube, W. (2014). Ice skating promotes postural control in children. *Scand J Med Sci Sports*, 24, 456-461.

Kelly, J.W., Riecke B., Loomis J.M. & Beall, A.C. (2008). *Perception & psychophysics*, 70(1), 158-165.

Lackner, J.R., Rabin, E. & DiZio, P. (2001). Stabilization of posture by precision touch of the index finger with rigid and flexible filaments. *Exp Brain Res*, 139, 454–464.

Lacour, M., Bernard-Demanze, L. & Dumitrescu, M. (2008). Posture control, aging, and attention ressources : Models and posture-analysis methods. *Neurophysiology clinique*, 38, 411-421.

Latash, M.L. (2008). Neurophysiological basis of movement, 2nd edition. Champaign : Human kinetics.

Lauber, B., Keller, M., Gollhofer, A., Muller, E. & Taube, W. (2011). Spinal reflex plasticity in response to alpine skiing in the elderly. *Scand J Med Sci Sports*, 21, 62-68.

Marieb, EN. (2005). Anatomie et physiologie humaine. Adaptation de la 6^{ème} édition américaine. Paris : Pearson Education France.

Massion, J. (1994). Postural control system. *Current opinion in neurobiology*, 4, 877-887.

- Math, F. (2008). Neurosciences cliniques. De la perception aux troubles du comportement. Bruxelles : Editions De Boeck Université.
- Muehlbauer, T., Kuehnen, M. & Granacher, U. (2013). Inline skating for balance and strength promotion in children during physical education. *Perceptual & motor skills : exercise & sport*, 117, 3,1-17.
- Olivier, I., Cuisinier, R., Vaugoyeau, M., Nougier, V. & Assaiante, C. (2007). Dual-task study of cognitive and postural interference in 7-year-olds and adults. *NeuroReport*, 18, 8, 817-821.
- Olivier, I., Cuisinier, R., Vaugoyeau, M., Nougier, V. & Assaiante, C. (2010). Age-related differences in cognitive and postural dual-task performance. *Gait & posture*, 32, 494-499.
- Orsini, J.C., Pellet, J., Appicella G. & Le Roy I. (2006). Introduction biologique à la psychologie. Paris : Edition Bréal.
- Palluel, E., Nougier, V. & Olivier, I. (2010). Postural control and attentional demand during adolescence. *Brain research*, 1358, 151-159.
- Pellecchia, G.L. (2005). Dual-task training reduces impact of cognitive task on postural sway. *Journal of motor behavior*, 37, 3, 239-246.
- Pérennou, D. (2012). Physiologie et physiopathologie du contrôle postural. *Lett. Méd. Phys. Réadapt*, 28, 120-132.
- Reilly, D.S., Van Donkelaar, P., Saavedra, S. & Woollacott M.H. (2008). Interaction between the development of postural control and the executive function of attention. *J Mot Behav*, 40(2), 90-102.
- Rodieck, R.W. (2003). La vision. Paris : De Boeck.
- Roulin, J.L. (2006). Psychologie cognitive. 2^{ème} édition. Paris : édition Bréal.

Ruffieux, J., Keller, M., Lauber, M. & Taube, W. (2015). *Changes of standing and walking performance under dual-task conditions across the lifespan : a systematic review* (rapport de recherche non publié). Fribourg : Université, Département de médecine, science du mouvement et du sport.

Schaeffer, S., Krampe, R.T., Lindenberger, U. & Baltes, P.B. (2008). Age differences between children and young adults in the dynamics of dual-task prioritization : body (balance) versus mind (memory). *Developmental psychology*, 44, 3, 747-757.

Schmidt, R.F. (1999). *Physiologie*. Paris, Bruxelles : De Boeck.

Taube, W., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., Gollhofer, A., & Schubert, M. (2007). Cortical and spinal adaptations induced by balance training : correlation between stance stability and corticospinal activation. *Acta Physiol*, 189, 347 - 358.

Taube, W., Bracht, D., Besemer, C. & Gollhofer A. (2010). The effect of inline skating on postural control in elderly people. *Dtsch Z Sportmed*, 61, 45-51.

Taube, W. (2012) Neurophysiological adaptations in response to balance training. *Dtsch Z Sportmed*, 63, 273-277.

Taube, W., Mouthon, M., Leukel, C., Hoogewoud, H.-M., Annoni, J.-M. & Keller, M. (2015). Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks : an fMRI study. *Cortex*, 64, 102-114.

Wade, M.G. & Jones, G. (1997). The role of vision and spatial orientation in the maintenance of posture. *Phys ther*, 77, 619-628.

Watkins, J. (2014) *Fundamental biomechanics of sport and exercise*. Abdingdon : Routledge.

Woollacott, M. & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait : a review of an emerging area of research. *Gait and posture*, 16, 1-14.

7 Annexes

Annexe 1 – Feuille d'autorisation des parents



Passage 1	Date : 13.01.2014	Heure :
Passage 2	Date : 23.02.2014	Heure :

Madame, Monsieur,

Dans le cadre de mon travail de Master en science du sport à l'Université de Fribourg et à la Haute école fédérale de sport de Macolin, je réalise un travail de recherche sur l'entraînement d'équilibre chez des enfants de différents âges.

Pour que cette étude soit possible, il est donc nécessaire pour moi de trouver des élèves de 13-15 ans motivés à participer à deux séances de mesures, réalisées dans les laboratoires de l'Université de Fribourg, sur le site de Pérolles. Tous ces tests sont non-invasifs et ne présentent aucun risque.

C'est une occasion pour les élèves de découvrir une autre facette du sport, le monde de la recherche ainsi que les laboratoires de pointe de l'Université de Fribourg.

Votre enfant étant mineur et ce projet n'entrant pas dans le programme scolaire habituel, j'ai besoin de votre autorisation.

N'hésitez pas à me contacter (079 580 79 50 ou simon.leuba@unifr.ch) en cas d'éventuelles questions.

Veuillez recevoir, Madame, Monsieur, mes meilleures salutations.

Simon Leuba, étudiant en sciences du sport

✂ _____

Autorisation

Nom..... Prénom.....

J'autorise mon enfant à prendre part au projet de M. Simon Leuba, comprenant deux sessions de mesures dans les laboratoires de l'Université de Fribourg.

☐ Oui

☐ Non

Remarques : _____

Date et lieu : _____ Signature : _____

Annexe 2 – Autorisation des services de l'enseignement obligatoire de la langue française

Autorisation de mener une enquête

Après analyse de la présente demande, le Service de l'enseignement obligatoire de langue française (SEnOF) vous donne son accord pour mener cette enquête selon les modalités énoncées ci-dessus auprès de l'école suivante :

Personne de contact :	Directeur du CO de Pérolles Monsieur Jacques Descloux j.descloux@co-perolles.ch +41 26 424 55 88
------------------------------	---

Remarques :

Ci-joint, les directives de la DICS relatives aux enquêtes effectuées auprès du corps enseignant, des classes, des élèves, des directeurs, des responsables d'établissement et des parents d'élèves. Nous vous demandons d'en prendre note et de les appliquer.

Nous attirons aussi votre attention sur la protection des données récoltées et l'anonymat requis pour ce genre d'enquête. Après analyse des résultats, la base de données sera détruite. En principe, le requérant ne conduit pas personnellement la recherche dans les écoles. Ce sont les enseignants de l'établissement qui s'occupent de la passation auprès des élèves.

Merci d'avance d'informer le Service des résultats de votre enquête et de lui en délivrer une synthèse comme prévu au dernier point des directives.

En vous souhaitant plein succès dans la poursuite de vos travaux et en restant à votre disposition pour tout renseignement complémentaire, nous vous prions d'agréer, Monsieur, nos salutations les meilleures.

Jean-Marc Oberson



Fribourg, le 18 novembre 2014

Adjoint du chef de service

Copie à

- M. Jacques Descloux, Directeur du CO de Pérolles

Annexe 3 – Autorisation de l'Ecole secondaire du Bas-Vallon



AUTORISATION

Corgémont, le 18 décembre 2014

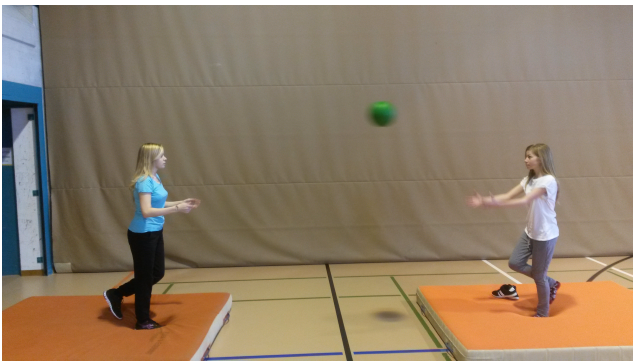



Nous autorisons Monsieur Simon LEUBA, né le 1^{er} juin 1990 et enseignant dans notre établissement, à effectuer, dans le cadre de son master, des études dans certaines classes lors des leçons d'éducation physique.

Ces études seront menées avec l'assentiment des parents des élèves concerné-e-s.

Le directeur

J.-M. Leuba

Annexe 4 – Entraînements réalisés avec le groupe intervention

ENTRAÎNEMENT I	Durée : 30 minutes
	<p><u>Tapis de sol</u></p> <p>Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur un pied sur un tapis de sol de 20cm.</p> <p>Les participants changent de pied régulièrement.</p>
	<p><u>Barre fixe</u></p> <p>Le participant se maintient en équilibre sur une barre fixe à une hauteur de 30cm. Le participant varie les positions pour varier la difficulté.</p>
	<p><u>Bancs suédois</u></p> <p>Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur un banc suédois retourné. Les participants varient les positions et les passes pour varier la difficulté.</p>
	<p><u>Planche d'équilibre</u></p> <p>Le participant se maintient en équilibre sur une planche reposant en instabilité sur un rouleau métallique. Au début, le participant s'aide en se tenant à un rebord, puis il lâche petit à petit.</p>

ENTRAÎNEMENT II	Durée : 30 minutes
	<p><u>Poutre</u></p> <p>Deux participants se font face sur une poutre. Ils se font des passes avec une medizin ball. Les participants varient les positions (tandem, 1 pied, sur le coté, ...etc.) et les passes pour diminuer ou augmenter la difficulté.</p>
	<p><u>Coussins d'air</u></p> <p>Le participant se maintient en équilibre sur un coussin d'air. Il commence sur les deux pieds puis varie les positions pour augmenter la difficulté.</p>
	<p><u>Banc suédois</u></p> <p>Installation : un banc suédois retourné est posé en instabilité sur un gros mousse.</p> <p>Le participant se déplace latéralement et varie les positions pour varier la difficulté</p>



Planche d'équilibre

Le participant se maintient en équilibre sur une planche reposant en instabilité sur un rouleau métallique.

Au début, le participant s'aide en se tenant à un rebord, puis il lâche petit à petit.



Swiss ball

Le participant se maintient en équilibre sur une swiss ball. Il commence par la position assise, puis à genoux et finalement debout. Il commence toujours par s'aider en se tenant aux espaliers, puis il lâche petit à petit.

ENTRAÎNEMENT III

Durée : 30 minutes



Cube en mousse

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre, sur un pied, sur des cubes en mousse.

Les participants changent régulièrement de pied.



« Planchette d'équilibre »

Le participant se maintient en équilibre sur un pied sur une petite planche d'équilibre.

Il peut varier les positions sur la planche pour varier les difficultés.



Planche d'équilibre

Le participant se maintient en équilibre sur une planche reposant en instabilité sur un rouleau métallique.

Au début, le participant s'aide en se tenant à un rebord, puis il lâche petit à petit.



Bancs suédois

Installation : Un banc suédois suspendu en instabilité entre deux anneaux balançant.

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur l'installation décrite ci-dessus. Ils varient les positions pour varier les difficultés.

ENTRAÎNEMENT IV

Durée : 30 minutes



Slackline

Le participant essaye de se maintenir en équilibre sur la slackline (très tendue). Il essaie de marcher, de rester stable sur un pied ou de s'asseoir. Au début, un camarade l'aide en lui donnant la main, puis il le laisse petit à petit essayer seul.



Coussins d'air

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur un pied sur un coussin d'air. Les participants changent de pied régulièrement.



Disque d'équilibre

Le participant se maintient en équilibre sur un disque instable. Le participant a plusieurs disques à disposition et peut varier les difficultés en fonction de l'instabilité du disque. Le participant alterne entre appui sur un pied ou deux pieds.



Planche d'équilibre

Le participant se maintient en équilibre sur une planche reposant en instabilité sur un rouleau métallique. Au début, le participant s'aide en se tenant à un rebord, puis il lâche petit à petit.

ENTRAÎNEMENT V	Durée : 30 minutes
	<p><u>Planche d'équilibre</u></p> <p>Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur une planche d'équilibre en instabilité sur un rouleau métallique</p>
	<p><u>Test d'équilibre</u></p> <p>Le participant réalise un test d'équilibre réalisé à l'armée. Il se maintient en équilibre sur un pied, l'autre pied maintenu dans le creux du genou et les mains dans le dos. Il se maintient 15'' dans cette position, puis il ferme les yeux pendant 15'', puis il bascule la tête en arrière (toujours en ayant les yeux fermés). Le but étant de rester dans cette dernière position le plus longtemps possible.</p>
	<p><u>Bancs suédois</u></p> <p>Un banc suédois est suspendu en instabilité par des cordes entre deux barres parallèles. Le participant se maintient en équilibre sur cette installation en variant les positions. Pour compliquer l'exercice, le participant peut fermer les yeux et maintenir ses mains sur ses hanches</p>
	<p><u>Coussins d'airs</u></p> <p>Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur un pied sur un coussin d'air. Les participants changent de pied régulièrement</p>

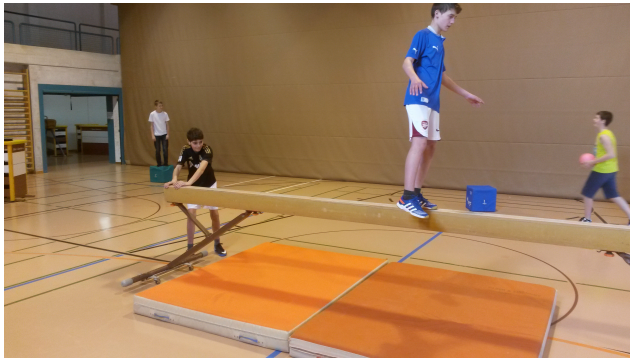


Banc suédois

Le participant réalise différents exercices sur un banc suédois retourné (marcher en av. / ar., $\frac{1}{2}$ tour, lunch, ...etc.) les yeux fermés. Pour compliquer, faire les mêmes exercices en maintenant les mains sur les hanches.

ENTRAÎNEMENT VI

Durée : 30 minutes



Poutre

Un participant se maintient en équilibre sur une poutre reposant sur des roulettes. Il varie les positions (tandem, un pied, ...etc.) pendant que son camarade le soumet à des perturbations en bougeant la poutre dans diverses directions.



Medizin ball

Le participant se maintient en équilibre avec chaque pied posé sur une medizin ball (instable). Il commence par réaliser l'exercice en se tenant sur un rebord, puis le lâche petit à petit.



Disque d'équilibre

Le participant se maintient en équilibre sur un disque instable. Le participant a plusieurs disques à disposition et peut varier les difficultés en fonction de l'instabilité du disque. Le participant alterne entre appui sur un pied ou deux pieds.



Cube en mousse

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre, sur un pied, sur des cubes en mousse. Les participants changent régulièrement de pied.



Planche d'équilibre

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur une planche d'équilibre en instabilité sur un rouleau métallique. La position sur la planche peut être variée pour augmenter la difficulté.

ENTRAÎNEMENT VII

Durée : 30 minutes



Planche d'équilibre

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur une planche d'équilibre en instabilité sur un rouleau métallique. La position sur la planche peut être variée pour augmenter la difficulté.



Banc suédois

Un participant se maintient en équilibre sur un banc suédois retourné reposant en instabilité sur des bâtons en bois. Il rattrape la passe de son camarade qui l'oblige à se déplacer latéralement sur le banc.



Gainage

Le participant adopte des positions de gainage diverses (ventrale, latérale, dorsale) sur un banc suédois reposant sur ses roulettes. Un camarade le soumet à des perturbations en faisant bouger le banc dans des directions variées.

Le participant doit se maintenir en équilibre en résistant aux perturbations.





« Planchette d'équilibre »

Le participant se maintient en équilibre sur un pied sur une petite planche d'équilibre.

Il peut varier les positions sur la planche pour varier les difficultés.



Disque d'équilibre & coussin d'air

Le participant se maintient en équilibre sur une installation composée d'un coussin d'air posé sur un disque d'équilibre. Au début, il se tient aux espaliers, puis lâche de plus en plus longtemps, pour finir par tenir seul en équilibre.

ENTRAÎNEMENT VIII

Durée : 30 minutes

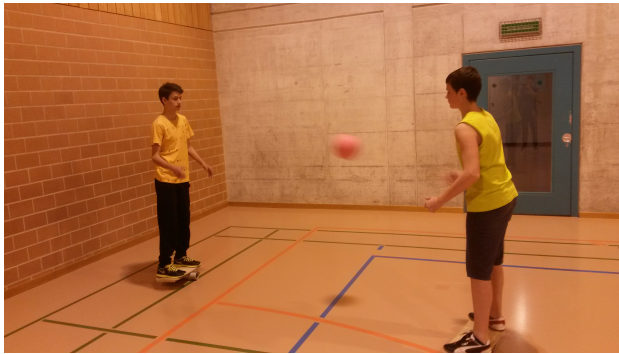


Planche d'équilibre

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur une planche d'équilibre en instabilité sur un rouleau métallique.



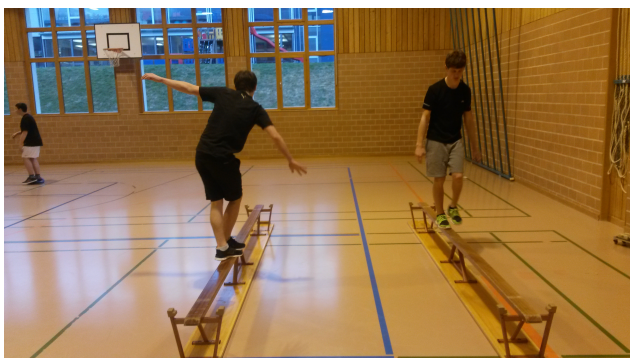
Coussins d'air

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur un pied sur un coussin d'air. Les participants changent de pied régulièrement.



Medizin ball

En appui à un pied sur une medizin ball (assez stable), le participant renvoie les passes de son camarade avec le pied. Le participant ne repose pas le pied entre chaque passe. Le participant change de pied régulièrement.



Banc suédois

Le participant réalise différents exercices sur un banc suédois retourné (marcher en av. / ar., ½ tour, lunch, ...etc.) les yeux fermés. Pour compliquer, faire les mêmes exercices en maintenant les mains sur les hanches.



Corde à sauter

Le participant saute à la corde sur un tapis de sol de 20cm. Il enchaîne les sauts à pieds joints et les sauts sur un pied.

ENTRAÎNEMENT IX

Durée : 30 minutes



Planche d'équilibre

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur une planche d'équilibre en instabilité sur un rouleau métallique.

Les participants varient la position sur la planche.



Disque d'équilibre

Deux participants face à face se font des passes en se maintenant en équilibre sur un disque. Les participants varient les appuis (1 pied ou 2 pieds).



« Planchette d'équilibre »

Le participant se maintient en équilibre sur un pied sur une petite planche d'équilibre.

Il peut varier les positions sur la planche pour varier les difficultés.



Cube en mousse

En appui sur un pied sur un cube en mousse (assez instable), le participant renvoie les passes de son camarade avec le pied. Le participant ne repose pas le pied entre chaque passe. Le participant change de pied régulièrement.



Bancs suédois

Installation : 1 banc suédois retourné suspendu par des cordes entre soit, deux barres parallèles (très instable), soit 1 barre parallèle et 1 cube ne mousse (plus stable).

Le participant se maintient en équilibre sur l'installation décrite ci-dessus tout en variant les positions.

Annexe 5 – Feuille récapitulative de mesure



UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

SCIENCES DU MOUVEMENT ET DU SPORT
BEWEGUNGS- UND SPORTWISSENSCHAFTEN

Date	18.02.15	Heure	15:00
Prénom		Nom	
Sujet-Nr.		Date de naissance	23.10.2000
Taille (cm)	1.72	Poids (kg)	67
Group	<input checked="" type="checkbox"/> Training	<input type="checkbox"/> Control	<input checked="" type="checkbox"/> Pre <input type="checkbox"/> Post

Cognitive single task (Stroop test)			
	réponses total	réponses correctes	Reponses fausses
1. Stroop test avant	25	24	1
2. Stroop test avant	24	23	1
Stroop test après	24	22	2
Remarques			

Motor single task (Posturomed tandem stance)		
	x	y
1. Essai	1.0068	0.2248
2. Essai	0.2835	0.1662
3. Essai	0.5083	0.2053
Remarques		

Dual task (Posturomed tandem stance & Stroop test)					
	réponses total	réponses correctes	Reponses fausses	x	y
1. Essai	23	21	2	0.7722	0.2737
2. Essai	25	24	1	0.3812	0.1662
3. Essai	25	24	1	1.4076	0.2639
Remarques					

Balance tasks on force plate			
	1. essai	2. essai	3. essai
Single leg stance (right leg)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 2
Stance on circle board	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> 5
Remarques			

12.01.2015

Annexe 6 – Feuille de contrôle Stroop test

Nom _____		Date _____	
Group	<input type="checkbox"/> training	<input type="checkbox"/> control	Test
	<input type="checkbox"/> Pre	<input type="checkbox"/> Post	Task single
First before			
1 vert		36 vert	71 rouge
2 jaune		37 rouge	72 vert
3 rouge		38 vert	73 jaune
4 bleu		39 jaune	74 noir
5 vert		40 rouge	75 rouge
6 noir		41 bleu	76 vert
7 jaune		42 jaune	77 bleu
8 bleu		43 vert	78 vert
9 rouge		44 noir	79 rouge
10 vert		45 bleu	80 jaune
11 bleu		46 rouge	81 noir
12 noir		47 jaune	82 bleu
13 jaune		48 vert	83 rouge
14 rouge		49 rouge	84 jaune
15 vert		50 vert	85 bleu
16 bleu		51 bleu	86 jaune
17 noir		52 rouge	87 vert
18 jaune		53 rouge	88 rouge
19 bleu		54 jaune	89 jaune
20 vert		55 bleu	90 bleu
21 rouge		56 noir	91 vert
22 bleu		57 bleu	92 bleu
23 jaune		58 vert	93 jaune
24 noir		59 noir	94 noir
25 vert		60 rouge	95 rouge
26 jaune		61 bleu	96 vert
27 rouge		62 jaune	97 bleu
28 noir		63 vert	98 jaune
29 vert		64 bleu	99 rouge
30 bleu		65 noir	100 bleu
31 bleu		66 jaune	101 vert
32 vert		67 noir	102 noir
33 rouge		68 bleu	103 bleu
34 jaune		69 vert	104 vert
35 rouge		70 jaune	105 noir
Second before			
1 vert		36 vert	71 rouge
2 jaune		37 rouge	72 vert
3 rouge		38 vert	73 jaune
4 bleu		39 jaune	74 noir
5 vert		40 rouge	75 rouge
6 noir		41 bleu	76 vert
7 jaune		42 jaune	77 bleu
8 bleu		43 vert	78 vert
9 rouge		44 noir	79 rouge
10 vert		45 bleu	80 jaune
11 bleu		46 rouge	81 noir
12 noir		47 jaune	82 bleu
13 jaune		48 vert	83 rouge
14 rouge		49 rouge	84 jaune
15 vert		50 vert	85 bleu
16 bleu		51 bleu	86 jaune
17 noir		52 rouge	87 vert
18 jaune		53 rouge	88 rouge
19 bleu		54 jaune	89 jaune
20 vert		55 bleu	90 bleu
21 rouge		56 noir	91 vert
22 bleu		57 bleu	92 bleu
23 jaune		58 vert	93 jaune
24 noir		59 noir	94 noir
25 vert		60 rouge	95 rouge
26 jaune		61 bleu	96 vert
27 rouge		62 jaune	97 bleu
28 noir		63 vert	98 jaune
29 vert		64 bleu	99 rouge
30 bleu		65 noir	100 bleu
31 bleu		66 jaune	101 vert
32 vert		67 noir	102 noir
33 rouge		68 bleu	103 bleu
34 jaune		69 vert	104 vert
35 rouge		70 jaune	105 noir
After			
1 vert		36 vert	71 rouge
2 jaune		37 rouge	72 vert
3 rouge		38 vert	73 jaune
4 bleu		39 jaune	74 noir
5 vert		40 rouge	75 rouge
6 noir		41 bleu	76 vert
7 jaune		42 jaune	77 bleu
8 bleu		43 vert	78 vert
9 rouge		44 noir	79 rouge
10 vert		45 bleu	80 jaune
11 bleu		46 rouge	81 noir
12 noir		47 jaune	82 bleu
13 jaune		48 vert	83 rouge
14 rouge		49 rouge	84 jaune
15 vert		50 vert	85 bleu
16 bleu		51 bleu	86 jaune
17 noir		52 rouge	87 vert
18 jaune		53 rouge	88 rouge
19 bleu		54 jaune	89 jaune
20 vert		55 bleu	90 bleu
21 rouge		56 noir	91 vert
22 bleu		57 bleu	92 bleu
23 jaune		58 vert	93 jaune
24 noir		59 noir	94 noir
25 vert		60 rouge	95 rouge
26 jaune		61 bleu	96 vert
27 rouge		62 jaune	97 bleu
28 noir		63 vert	98 jaune
29 vert		64 bleu	99 rouge
30 bleu		65 noir	100 bleu
31 bleu		66 jaune	101 vert
32 vert		67 noir	102 noir
33 rouge		68 bleu	103 bleu
34 jaune		69 vert	104 vert
35 rouge		70 jaune	105 noir

Déclaration personnelle

« Je sous-signé certifie avoir réalisé le présent travail de façon autonome, sans aide illicite quelconque. Tout élément emprunté littéralement ou mutatis mutandis à des publications ou à des sources inconnues, a été rendu reconnaissable comme tel. »

Lieu et date : Corgémont, le 31 mai 2015

Signature :

Droits d'auteur

« Je sous-signé reconnais que le présent travail est une partie constituante de la formation en Sciences du Mouvement et du Sport à l'Université de Fribourg. Je m'engage donc à céder entièrement les droits d'auteur, y compris les droits de publication et autres droits liés à des fins commerciales ou bénévoles – à l'Université de Fribourg.

La cession à tiers des droits d'auteurs par l'Université de Fribourg est soumise à l'accord du sous-signé uniquement.

Cet accord ne peut faire l'objet d'aucune rétribution financière. »

Date : 31.05.2015

Signature :